



ETHEL

ENERGIE TRANSPORT HABITAT ENVIRONNEMENT LOCALISATIONS

ETHEL - II

Rapport Final
Activité B. Parc résidentiel

Avril 2010

Convention ADEME n° 06 10 C 0094



LET

Laboratoire d'Economie des Transports
UMR 5593 CNRS, Université de Lyon,
ENTPE



AUS-LTMU

Laboratoire Théorie des Mutations
Urbaines
UMR 7136 CNRS, Université Paris 8

Contacts

M. Charles RAUX (coordinateur du projet)	
Laboratoire : Laboratoire d'Economie des Transports (LET)	
ISH, 14 avenue Berthelot, 69363 LYON CEDEX 07	
email : charles.raux@let.ish-lyon.cnrs.fr	
Tél : 04 72 72 64 54	Fax : 04 72 72 64 48

M. Jean-Pierre TRAISNEL	
Laboratoire : LTMU, Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR AUS 7136	
Institut français d'urbanisme, 4 rue Nobel, Cité Descartes, 77420 Champs sur Marne	
email :Jean-Pierre.Traisnel@univ-paris8.fr	
Tél : 01 64 68 91 91	Fax : 01 64 68 96 87

Sommaire

Introduction	1
1 Activité A « Transport de marchandises en ville »	Erreur ! Signet non défini.
1.1 Cadrage des travaux	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Les outils de modélisation existants	Erreur ! Signet non défini.
1.3 Tâche A 1 : Les évolutions de l'emploi et du nombre d'établissements dans diverses agglomérations	Erreur ! Signet non défini.
1.4 Tâche A2 : Modéliser la demande de transport de biens de consommation finale	Erreur ! Signet non défini.
1.5 Tâche A3 : Scénarios et résultats des simulations	Erreur ! Signet non défini.
2 Activité B « Secteur résidentiel »	2
2.1 Cadrage des travaux	2
2.2 Tâche B1 : Modèle dynamique du parc	2
2.3 Tâche B2 : Analyse énergétique et morphologique du parc de logements.	19
2.4 Tâche B3 : Scénarios énergétiques et artificialisation du territoire	58
Conclusion	74
Références	75

Résumé exécutif

Introduction

La lutte contre l'effet de serre est une priorité nationale, notamment dans le résidentiel/tertiaire et les transports. Par la croissance de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), ces deux secteurs tendent à effacer les progrès obtenus dans l'industrie, la production énergétique et le traitement des déchets. Les transports et les bâtiments montrent en effet des évolutions préoccupantes, malgré les avancées technologiques sur le neuf (automobiles et bâtiments). L'accroissement des distances parcourues par les personnes et des surfaces chauffées, dans un tissu urbain diffus de type pavillonnaire, la forte croissance des distances parcourues dans le transport de marchandises, avec une prépondérance croissante de la route, contribuent à la dérive des consommations d'énergie fossile. La réduction des consommations dans les secteurs de l'habitat et des transports contribuerait également à l'indépendance énergétique du pays. Cette question de société interroge les modes de vie, les politiques publiques, les collectivités – dans les actions relevant de l'aménagement du territoire –, la dynamique des innovations technologiques dans le bâtiment et la motorisation des véhicules.

Le projet de recherche ETHEL vise à mieux comprendre les déterminants de la croissance des émissions de GES à travers l'interaction entre transports et usages de l'espace pour pouvoir agir sur ces déterminants et ainsi infléchir cette dynamique de croissance.

Dans la phase I d'ETHEL, l'approche était restreinte aux transports de personnes et à l'habitat résidentiel. C'est pourquoi il est proposé dans ETHEL – phase II d'élargir l'approche au cas des transports de marchandises. En effet, le transport de marchandises en milieu urbain représente le quart de la circulation urbaine (qui grosso modo représente la moitié des circulations routières à l'échelle nationale).

Deux activités sont donc proposées, la première relative au transport de marchandises en ville, une deuxième (seule présentée ici) relative à l'affinement des modèles énergétiques des logements et de leurs morphologies spatiales.

Activité B « Secteur résidentiel »

1.1 Cadrage des travaux

A la suite de la première phase de la recherche ETHHEL, il a semblé nécessaire de mettre à jour la méthodologie de la dynamique du parc à 2050, ce qui représente la première tâche de l'activité consacrée au secteur résidentiel. Cette tâche B1 actualise, sur la base d'ETHHEL-I, le modèle de dynamique du parc déterminant les besoins de construction neuve selon les typologies privilégiées (maison individuelle ou logement en immeuble collectif), en vue de décrire le parc en 2050, base de l'exercice d'une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie.

Les deux autres tâches identifiées sont les suivantes :

B2 : Développement de modules d'analyse morphologique du parc de logements, permettant d'explorer les gisements d'économie d'énergie, dans le neuf et dans l'existant, ainsi que la contribution solaire (solaire thermique et photovoltaïque).

B3 : Développement de scénarios énergétiques et d'aménagement du territoire, produisant des résultats de consommation d'énergie totale du parc de logements et d'émissions de gaz à effet de serre, et d'occupation de territoire.

1.2 Tâche B1 : Modèle dynamique du parc

1.2.1 Le champ de l'étude concerne les résidences principales

1.2.1.1 Les effectifs en 2006

Le parc de logements comprend essentiellement les résidences principales (RP), dont la description est basée sur les personnes en ménage, cette catégorie étant étendue à toute la population : les personnes hors ménages ne sont pas identifiées en tant que telles, mais réparties dans le parc selon la taille moyenne des ménages.

Les logements vacants sont comptabilisés dans la dynamique du parc, mais non inclus dans l'estimation individuelle des besoins énergétiques.

Le parc résidentiel métropolitain comporte 31,3 millions de logements en 2006, dont 26,3 millions de résidences principales, 3,1 millions de résidences secondaires et 1,9 millions de logements vacants. Le nombre de résidences principales a crû de 387.000 unités en un an, grâce à une activité de la construction neuve encore vigoureuse, tandis que le parc de résidences secondaires a faiblement progressé. Le nombre de logements vacants a également diminué progressivement depuis 2000.

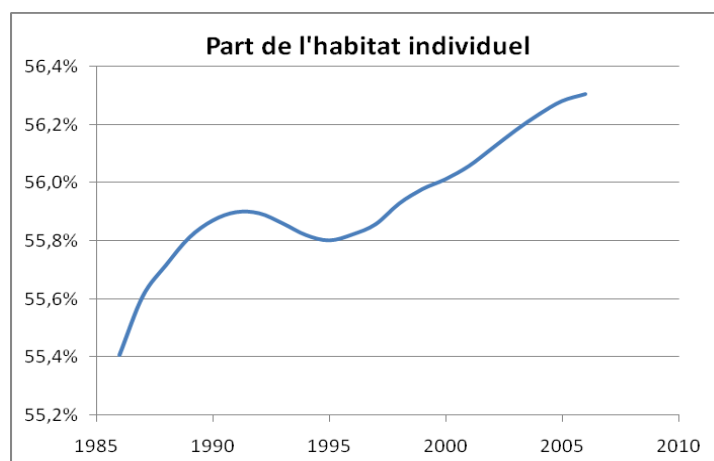
Tableau 1. Effectifs des logements (2000 à 2006)

Métropole (en milliers de logements)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Résidences principales	24 241	24 555	24 866	25 184	25 519	25 876	26 263
Résidences secondaires	2 934	2 959	2 985	3 010	3 038	3 070	3 106
Logements vacants	1 969	1 957	1 944	1 931	1 919	1 908	1 899
Nombre total de logements	29 144	29 471	29 795	30 126	30 477	30 854	31 267

Effectifs en juillet de chaque année

Sources : Comptes du logement 2006.

Les maisons individuelles au nombre de 14,8 millions d'unités, forment la majorité des résidences principales (56,3 %). Leur part est grandissante depuis 1995 mais ralentit légèrement depuis 2004. 11,5 millions de logements sont en immeubles collectifs.

**Figure 1. Part de l'habitat individuel en % du parc de résidences principales**

En 2006, 57,1 % des ménages sont propriétaires, 6,6 millions de ménages sont logés dans le parc locatif privé, niveau sans progression notable depuis 1984, et 5 millions sont locataires dans le parc social et celui des collectivités locales¹.

1.2.1.2 Les conditions de confort et la surface moyenne des logements

Le nombre de personnes par logement, s'établit à 2,3 en 2006, contre 2,8 en 1978. Cette diminution continue de la taille moyenne des ménages résulte de plusieurs facteurs, dont le vieillissement de la population associé au maintien à domicile des personnes âgées, et des changements des modes de cohabitation. Les enquêtes logement indiquent que les conditions de logement se sont améliorées :

- la surface moyenne par personne est passée de 27,4 m² à près de 40 m² entre 1978 et 2006, sous le double effet de la croissance de la surface moyenne des résidences

¹ Chiffres France entière, cf. Comptes du logement 2006.

principales et de la diminution de la taille des ménages ; l'augmentation de la surface habitable par personne apparaît plus rapide dans l'individuel que dans le collectif ;

- parallèlement, le confort a progressé : seulement 1,5 % des logements en 2006 sont dépourvus d'eau chaude ou de sanitaires contre 27 % en 1978.

La surface moyenne des maisons individuelles est passée de 100 à 110 m² en 20 ans, mais sa progression ralentit ; à l'inverse, la surface moyenne des logements en immeuble collectif est stable à 65 m² environ.

Tableau 2. Quelques caractéristiques du parc de résidences principales

	1978	1984	1988	1992	1996	2002	2006
Part des logements sans confort sanitaire (en %)	26,9	15,0	9,6	6,2	4,1	2,6	1,5
Surface moyenne des logements (en m ²)	77	82	85	86	88	90	91
Nombre moyen de personnes par logement	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3
Surface habitable moyenne par personne	27,5	30,7	32,4	33,9	35,5	37,5	39,6

Source : Insee, enquêtes Logement.

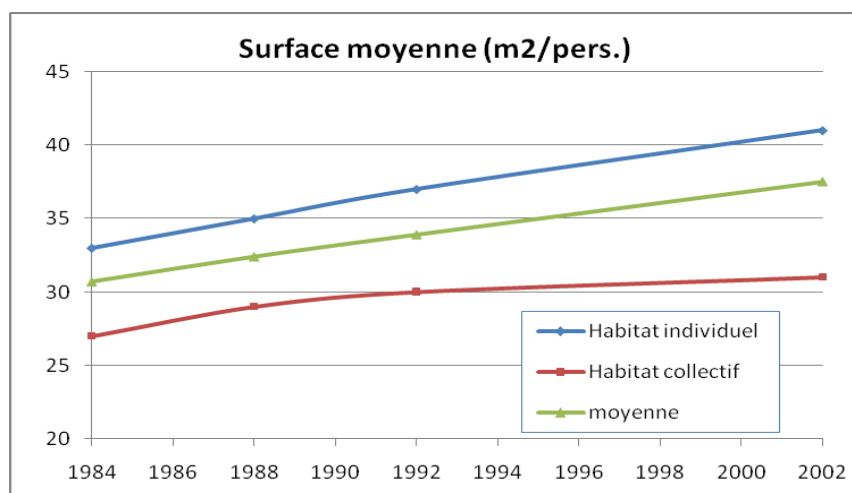


Figure 2. Evolution des surfaces moyennes de résidences principales, par personne

D'après : Enquête Logement 2002, Insee (« De plus en plus de maisons individuelles », Alain Jacquot, Insee N° 885 - FÉVRIER 2003)

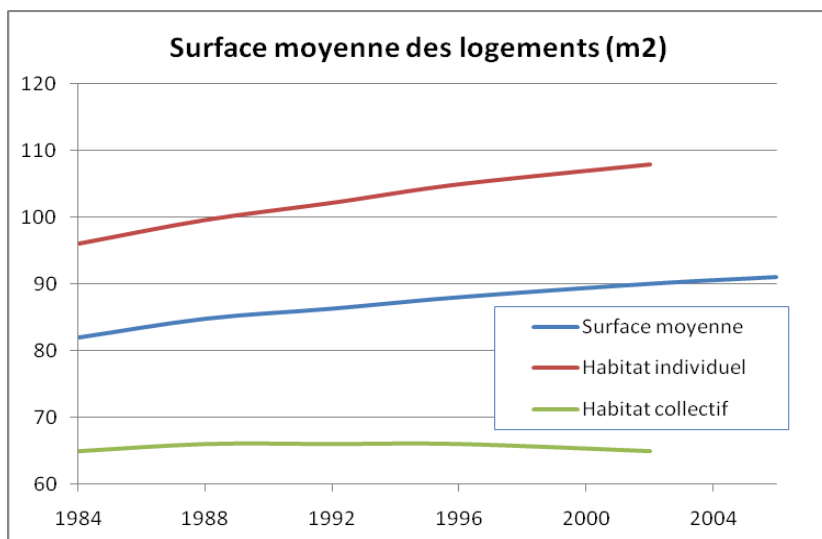


Figure 3. Evolution des surfaces moyennes de résidences principales, par logement

1.2.2 Les données de population et la croissance du parc de logements

1.2.2.1 Population et ménages en France métropolitaine

Au 1er janvier 2009, la population de la France métropolitaine s'élève à 62,45 millions d'habitants, en progression moyenne de 400.000 habitants par an depuis le début de la décennie, soit à un taux de croissance annuel de 6 à 7%. Ces chiffres montrent que la population croît plus rapidement que dans les projections de l'INSEE, que nous retiendrons néanmoins. Le nombre de ménages, à 25,69 millions en 2005, représentait une population de 59,67 millions en ménages. La taille moyenne du ménage s'établit ainsi à 2,32 personnes.

Tableau 3. Évolution générale de la situation démographique

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 (p)	2008 (p)	2009 (p)
Population au 1er janvier	58 858	59 267	59 686	60 102	60 506	60 963	61 400	61 771	62 106	62 449

(p) Populations 2007, 2008 et 2009, état civil 2008 : résultats provisoires arrêtés fin 2008.

Champ : France métropolitaine.

Sources : Insee, estimations de population

Les projections récentes de l'INSEE montrent, dans le scénario central, que la France métropolitaine compterait 70,0 millions d'habitants en janvier 2050, soit 9,1 millions de plus

qu'en 2005². Le nombre de ménages tend cependant à croître plus vite que la population (+ 1,24% par an en moyenne pour le nombre de ménages entre 1975 et 2005, + 0,48% pour la population), en raison de la baisse continue du nombre moyen de personnes par ménage³. Cette baisse est due à deux facteurs principaux : la structure par âge de la population – le nombre de ménages de personnes âgées croît, avec une taille de ménage plus petite que la moyenne – et les comportements de cohabitation, la vie en couple cédant du terrain au profit de familles monoparentales. L'indépendance économique des femmes et la moindre différenciation des fonctions entre les hommes et les femmes réduisent en outre les gains à attendre de la vie en couple.

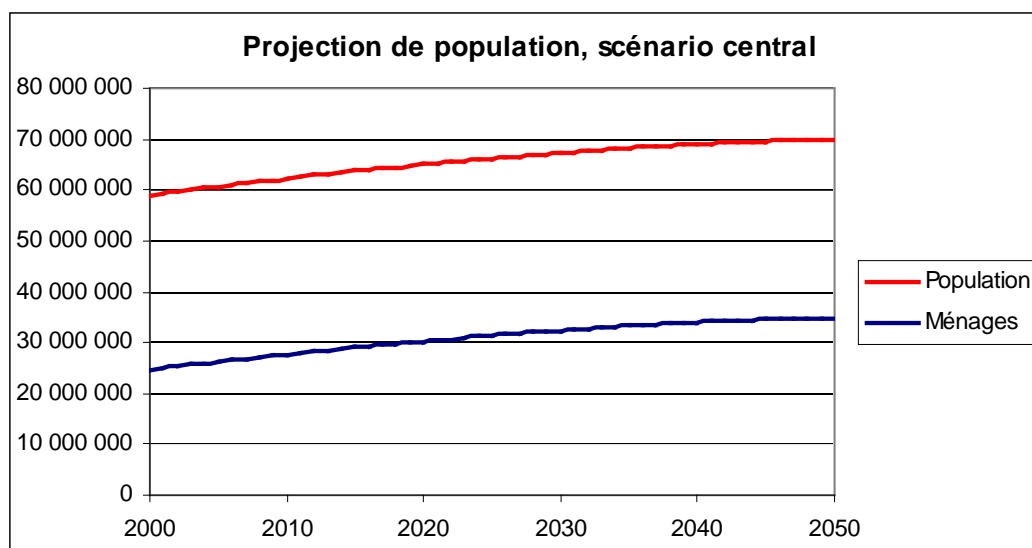


Figure 4. Projections de population à 2050 (nombre d'habitants et nombre de ménages)

Scénario central pour la population, scénario B pour la taille des ménages

Sources : Insee Première N° 1089 - Juillet 2006 et N° 1106 - Octobre 2006.

En maintenant la tendance observée dans l'intervalle 1990-1999 pour les comportements de cohabitation, qui semble toutefois s'être accélérée au cours des années récentes, l'INSEE a établi deux scénarios d'évolution de la taille moyenne de ménages. Nous adoptons le scénario B (scénario « bas » en nombre de ménages, mais haut en taille moyenne), qui indique un accroissement annuel moyen de 236.000 ménages dans la période 2005-2030. De 2,37 personnes par ménage pour 24,7 millions de ménages en 2000, la taille moyenne décroîtrait à 2,08 personnes par ménage pour 32,4 millions de ménages en 2030. La structure des ménages s'en trouvera modifiée, ce qui pourrait être une cause d'évolution vers une demande plus forte en petits logements : alors qu'un tiers des résidences principales sont occupées à présent par une personne seule, la proportion pourrait atteindre 43 à 46 % en 2030.

² Sources : Insee, *situation démographique et projections de population 2005-2050* ; I. Robert-Bobée, *Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050. La population continue de croître et le vieillissement se poursuit*, Insee Première N° 1089 - Juillet 2006.

³ A. Jacquot, *Des ménages toujours plus petits, Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030*, Insee Première N° 1106 - Octobre 2006.

Tableau 4. Projection de la taille des ménages à 2030 selon deux scénarios

	1990	1999	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Taille ménages (B)	2,57	2,4	2,31	2,25	2,2	2,16	2,12	2,08	2,04	2,01
Taille ménages (H)	2,57	2,4	2,31	2,24	2,19	2,14	2,09	2,04	1,99	1,96

Source valeurs 1990-2030 : INSEE Première 1106, d'après : recensements de la population 1982 à 1999, enquête annuelle de recensement 2005 et projection, Insee.

Projections 2040-2050 : étude CLIP

Le nombre de ménages est une donnée essentielle pour établir les perspectives du parc de résidences principales (un ménage = un logement). Ne disposant pas de données régionalisées en nombre de ménages en prospective, il apparaît possible de déduire cette donnée de l'estimation de la taille des ménages, quelle que soit l'échelle considérée.

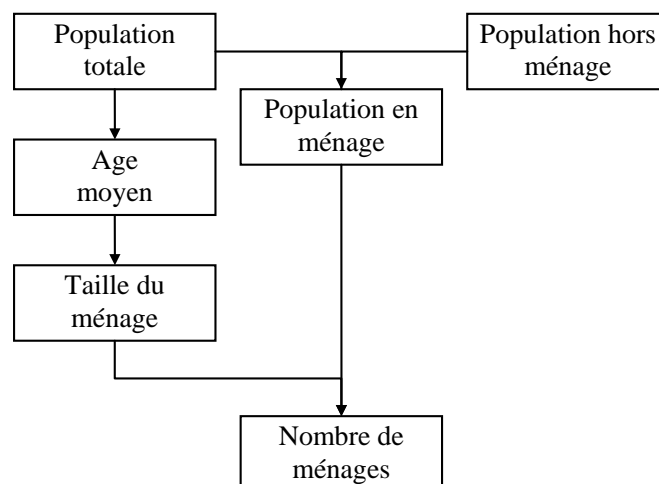


Figure 5. Procédure d'estimation du nombre de résidences principales RP
(Un ménage = une RP)

Les projections établies par l'INSEE donnent une répartition de la population par tranche d'âge et par région⁴ à l'échéance 2030. Il est ainsi possible de dessiner les perspectives d'évolution de l'âge moyen de la population aux deux échelons, national et régional.

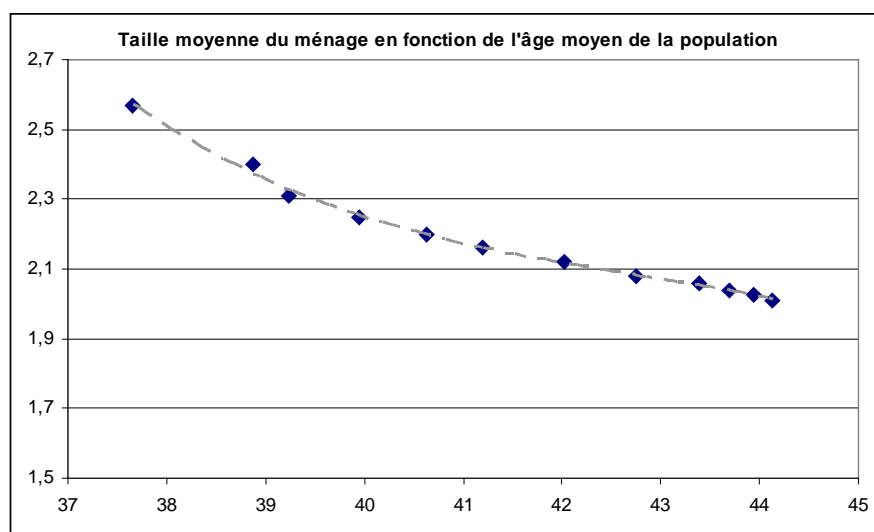
⁴ La répartition de la population en 5 classes d'âge, ainsi que l'âge moyen, est projeté par région jusqu'en 2030, cf. O. Léon, P. Godefroy, *Projections régionales de population à l'horizon 2030. Fortes croissances au Sud et à l'Ouest*, Insee Première N° 1111 - Décembre 2006.

Tableau 5. Population de France métropolitaine de 2005 à 2030

Année	Population au 1er janvier	Proportion (%) des				Age moyen
		0-19 ans	20-59 ans	60 et +	80 et +	
2005	60 702 284	24,9	54,3	20,8	4,5	39,0
2010	62 302 078	24,3	53,0	22,7	5,2	39,7
2015	63 728 236	24,0	51,4	24,6	5,8	40,5
2020	64 983 913	23,7	50,1	26,2	5,9	41,2
2025	66 122 510	23,1	49,1	27,9	5,9	42,0
2030	67 204 319	22,6	48,1	29,3	7,2	42,7

Scénario central, INSEE

Les projections nationales peuvent être prolongées à 2050, puis différenciées par région⁵, en s'appuyant sur la corrélation entre la taille du ménage et l'âge moyen de la population (Figure 11).

**Figure 6. Taille moyenne du ménage en fonction de l'âge moyen de la population**

La courbe de tendance obtenue, avec un coefficient de détermination R^2 élevé, permet de produire pour l'intervalle 2000-2050, une taille de ménage régionale.

⁵ La répartition de la population en 5 classes d'âge, ainsi que l'âge moyen, est projeté par région jusqu'en 2030, cf. O. Léon, P. Godefroy, *Projections régionales de population à l'horizon 2030. Fortes croissances au Sud et à l'Ouest*, Insee Première N° 1111 - Décembre 2006.

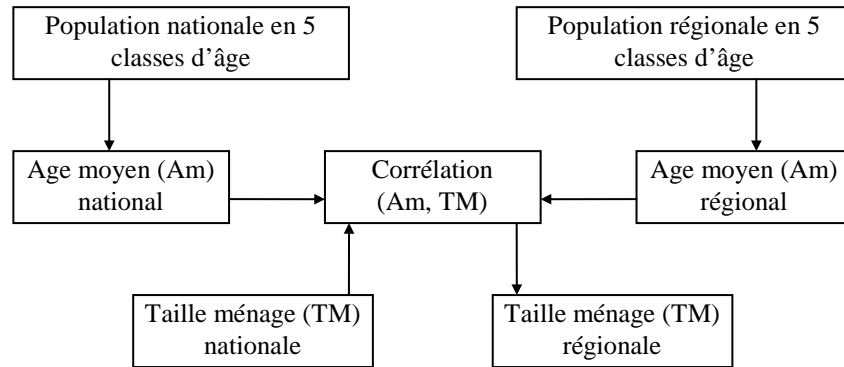


Figure 7. Procédure de régionalisation des données nationales

(Taille moyenne du ménage déduite de la répartition de la population en 5 classes d'âge)

1.2.2.2 L'estimation des taux de sortie, de vacants et de construction neuve

Le modèle prospectif de parc de résidences principales résulte de l'hypothèse que l'accroissement du nombre de logements entre deux années consécutives est actionné par l'évolution du nombre de ménages. La construction neuve (CN) est supposée répondre à cette accroissement du nombre de ménages (A) augmentée des sorties totales (S), par destruction et solde des échanges entre le parc de résidences principales et les autres stocks, résidences secondaires et logements vacants.

En conséquence, à chaque pas de temps (une année) :

$$CN = A + S$$

Le modèle de dynamique du parc doit permettre de décrire l'évolution des différents segments, non seulement en raison de la région, mais aussi selon la typologie (maisons individuelles et logements collectifs), la date de construction et la localisation dans les différentes zones des aires urbaines.

Le taux de sortie est basé sur le rapport (destructions) / (stock RP + vacants), soit 0,12% en moyenne métropolitaine dans la période antérieure à 2000. Cette hypothèse qui apparaît optimiste face aux données plus récentes, permet de renforcer la dynamique de la construction neuve, donc le renouvellement du parc, ce qui reste faible en comparaison des périodes antérieures⁶. Le rythme de sorties dépend en réalité des dynamiques urbaines à l'horizon 2050. Il conviendrait de le discrétiser, en fonction de la période de construction, de la typologie MI/IC et du type de commune.

Pour les logements neufs, le nombre de logements déclarés et commencés de 1994 à 2004 est donné par commune dans la base SITADEL. Les variables connues sont la typologie de logement (maisons individuelles et logements collectifs) ainsi que la surface des logements construits (SHON). Il conviendrait d'enrichir la base de données, par :

⁶ Cf. J.P. TRAISNEL, Cahiers du CLIP n° 13, *Habitat et développement durable, étude rétrospective et prospective*, Mai 2001.

- la typologie architecturale selon un classement en quatre types de maisons individuelles (longère, R+1 isolée, R+1 mitoyenne, maison de ville) et deux types d'immeubles collectifs, selon le nombre d'étages ;
- les surfaces habitables (Slogt ou S/personne) par typologie ;
- les statuts d'occupation.

Une étude paramétrique pourrait être établie sur deux fonctions possibles pour les 2 classes en immeuble collectif :

- le seuil de passage entre les deux types de chauffage central, collectif ou individuel (CCC/CCI) ;
- l'effet de contiguïté verticale et horizontale (valeur Surface enveloppe / Shabitable).

1.2.2.3 Les projections de construction neuve, par région

Les logements construits annuellement, de l'ordre de 380.000 unités, représentent 1,5 % du parc de résidences principales en année moyenne : ce taux illustre la vitesse d'accroissement du parc, le rythme de destruction du parc restant faible, de l'ordre de 0,1 à 0,2% par an. Le renouvellement du parc est en conséquence très lent.

L'augmentation de la construction neuve depuis 2004 a principalement pour origine le dynamisme de la construction de logements collectifs, qui a crû trois fois plus rapidement que la construction de maisons individuelles : la part du collectif a en effet augmenté de 10 points depuis 2000, passant à 44% en 2007 dans les mises en chantier de résidences principales en métropole. Le nombre total de logements terminés au cours de l'année 2007 augmente de plus de 15% par rapport à l'année précédente.

La construction apparaît la plus dynamique sur la façade atlantique (en Aquitaine, en Bretagne) et en Corse. L'Île-de-France, la région Nord-Pas-de-Calais ainsi que la région Champagne-Ardenne apparaissent les moins dynamiques.

Tableau 6. Logements ordinaires commencés ventilés selon le type de construction

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Individuel pur	115 397	127 699	144 522	158 625	149 096	148 900	163 583	163 583	169 448	171 016	170 313
Individuel groupé	25 700	28 294	32 811	29 779	31 696	31 727	40 070	40 070	46 691	46 458	45 736
Collectif	99 703	106 544	115 398	96 834	95 516	95 748	124 564	124 564	154 958	161 653	169 725
Total	240 800	262 537	292 731	285 238	276 308	276 375	328 217	328 217	371 097	379 127	385 774

Champ : Résidences principales, France métropolitaine, hors logements en résidences

Source : SOeS / SITADEL

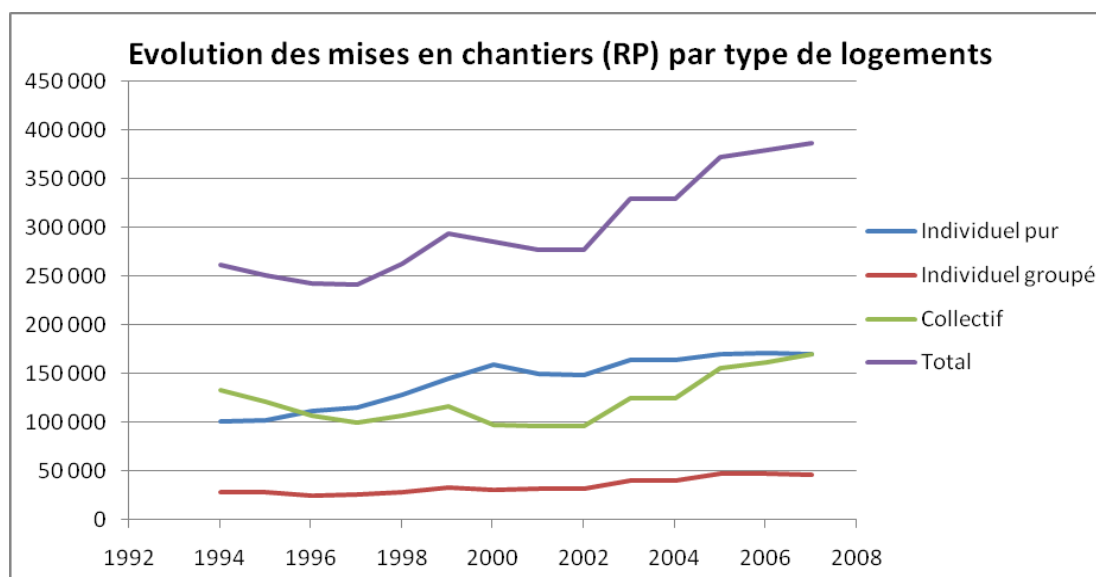


Figure 8. Mises en chantier des résidences principales

Champ : Résidences principales, France métropolitaine, hors logements en résidences.

Source : SOeS / SITADEL

Les 385.000 résidences principales construites en 2007 correspondent à 41,4 Millions de m², soit une surface moyenne (SHON) de 107 m² par logement (140 m² en individuel pur, 105 m² en individuel groupé et 75 m² en immeuble collectif).

La création de logements ainsi dénombrée comporte deux composantes principales : la construction neuve proprement dite (qui y contribue à 90%), et le changement de destination, dont la part apparaît croissante au cours des 15 dernières années pour atteindre 7% en 2005⁷. Le solde (environ 3%) est représenté par élévation ou extension d'un bâtiment, de scission de logements anciens. Les logements créés par changement de destination sont en moyenne de plus petite taille, souvent situés en zones rurales (notamment lorsqu'il s'agit de résidences secondaires) et en premier lieu les unités urbaines de moins de 10 000 habitants. Ce mode de construction est également très pratiqué dans la ville de Paris (près de 12% de la création de logements).

A partir des données de démographie et des hypothèses retenues, il est possible de déterminer la demande en logements année par année jusqu'en 2030.

⁷ Cf. La création de logements par changement de destination de locaux, DAEI/SESP et DGUHC, Compte du logement provisoire 2006.

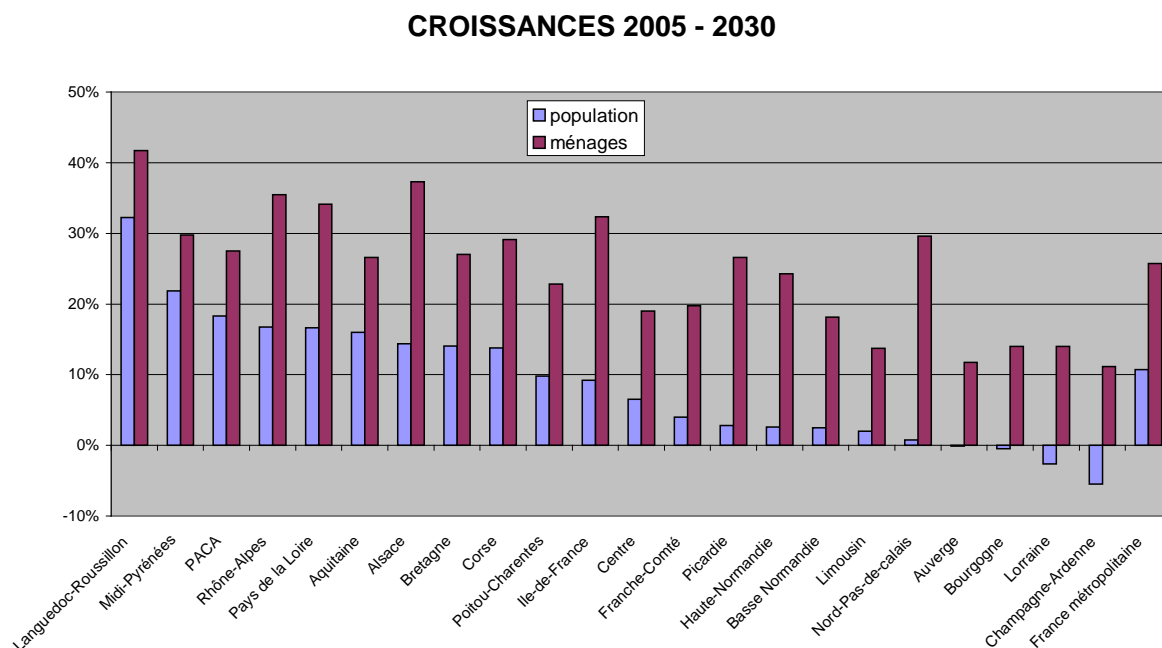


Figure 9. Populations et ménages, par région

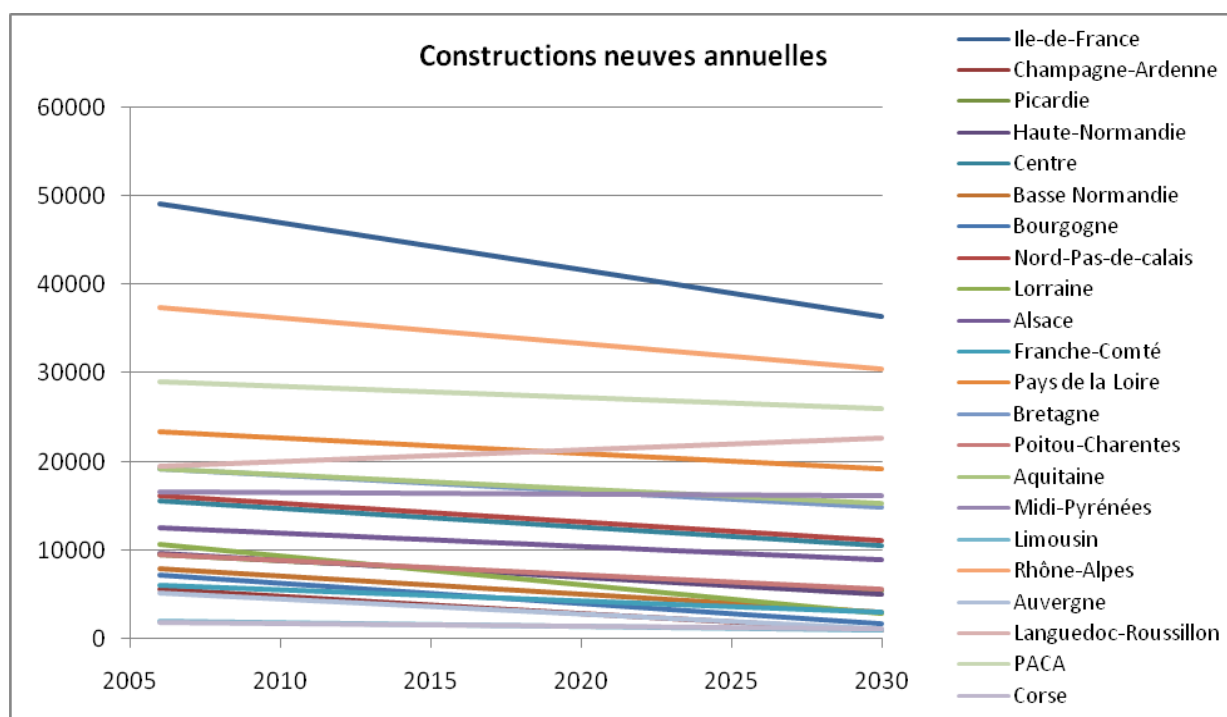


Figure 10. Nombre de logements neufs construits par région (2007-2030)

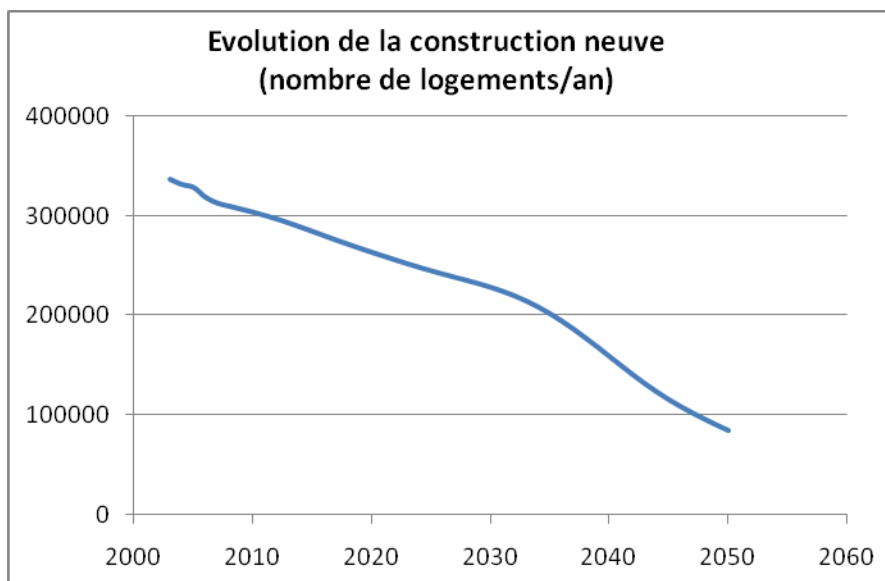


Figure 11. Projections de constructions de logements neufs à 2050

1.2.2.4 Les hypothèses retenues en tendanciel

En tendanciel, nous adopterons les valeurs constatées en analyse rétrospective 1990-2004 :

- Le taux de vacants sera également appliqué à l'augmentation du parc par construction neuve, pour maintenir un taux constant ;
- Le taux de destruction est maintenu à 0,12% du parc existant ;
- La répartition dans le neuf (MI / IC) est maintenue dans chaque commune, par prolongement des tendances 1990-2004.

Il serait néanmoins nécessaire de vérifier la constance de la répartition MI/IC dans le neuf entre les deux périodes « 1990-1999 » et « 2000-2004 ».

Les valeurs de vacance et destruction pourraient également être discrétisées, en fonction :

- de la région
- de la période de construction
- de la typologie MI/IC
- du type de commune (selon les catégories d'aires urbaine).

Le modèle de parc nécessite également que soient adoptées des hypothèses de surface habitable, par personne ou par logement. Les surfaces des logements neufs, en moyenne, évoluent assez peu pour les trois typologies principales, l'individuel pur, l'individuel groupé et le collectif, qui apparaissent plutôt stables dans la période 1998-2007 :

- 140 m² en individuel pur
- 102 m² en individuel groupé ;
- 75 m² en collectif.

Ces valeurs, supérieures à celles du stock, contribuent à l'augmentation des surfaces habitables par personne, bien que la surface du logement neuf en immeuble collectif apparaisse élevée au vu de la faible variation de la surface moyenne des logements collectifs, entre 65 et 66 m².

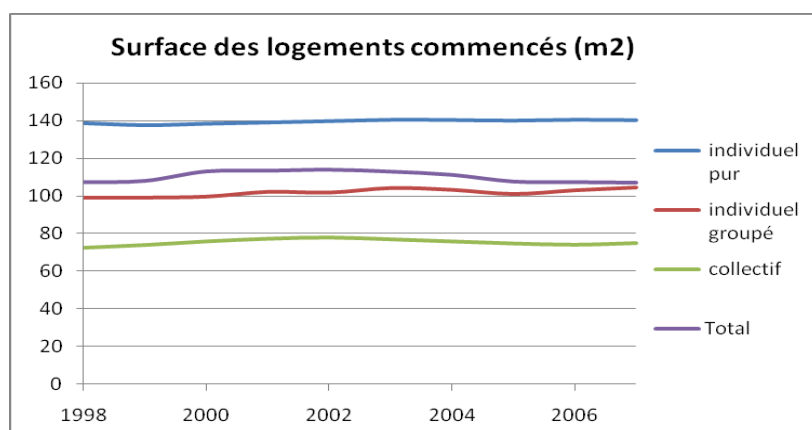


Figure 12. Surface des logements neufs en fonction de la date de mise en chantier

D'après : Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement - DAEI-SES : SITADEL

Les tendances observables en surfaces habitables peuvent être prolongées sur la base des hypothèses suivantes :

- Une surface moyenne des logements du stock constante (sans subdivision ou fusion notable des logements existants) ;
- Une surface des maisons individuelles croissant légèrement, pour atteindre la valeur moyenne de 113 m² en 2050 (considérant que 60% des effectifs 2050 existent déjà à une surface de 108 m², et que les 40% restant ont une surface stabilisée à 120 m²) ;
- Une surface moyenne des logements collectifs stable à 65 m² ;
- Une part de maisons individuelles (neuf ou stock) stable à 56,6% ;
- Une taille moyenne des ménages correspondant au scénario « B », soit 2,08 en 2030, prolongée à 2,01 en 2050 et différenciée selon le rapport de 1,24 entre la maison individuelle et le logement collectif (rapport assez stable observé entre 1984 et 2002).

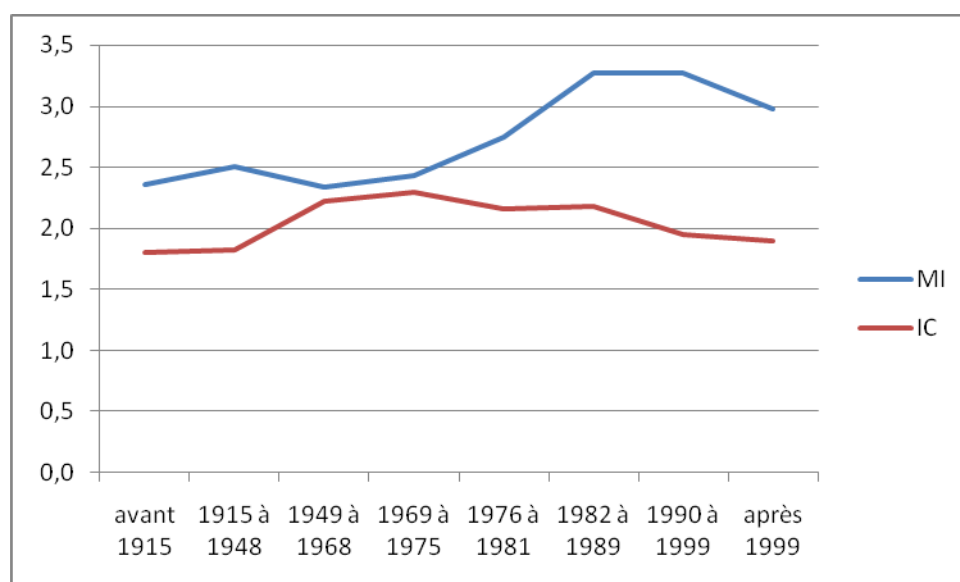


Figure 13. Nombre de personnes par logement en fonction de la date de construction

Données 2005. MI : maison individuelle ; IC : logement en immeuble collectif

Il est difficile de tenir compte de la diversité des situations de peuplement, notamment dans la maison individuelle, selon l'âge de la construction : pour la catégorie des maisons individuelles récentes (moins de 20 ans), la taille de ménage est de 3,2 personnes en moyenne, alors que pour les pavillons plus anciens, les valeurs oscillent autour de 2,5 personnes par logement, ce qui traduit un vieillissement des occupants, majoritairement retraités sans enfants. L'effet de renouvellement générationnel pourrait être mieux étudié, pour apprécier l'avenir du périurbain face aux perspectives démographiques dans lesquelles la part des personnes âgées croît fortement d'ici à 2050.

Dans les conditions retenues, on peut projeter les tailles de ménages selon le type de logement en 2050, ainsi que les surfaces habitables qui atteindraient, en 2050, 50 m² par personne dans l'individuel et plus de 35 m² en collectif. Il convient de préciser que la situation du logement individuel dépend assez peu des hypothèses de la construction neuve. En revanche, si la part du logement collectif devenait prépondérante, ce parc accueillerait des ménages dont la taille se rapprocherait de la moyenne, pour une surface des logements plus grande, sur la base d'une surface habitable par personne qui suivrait la progression tendancielle ainsi dessinée.

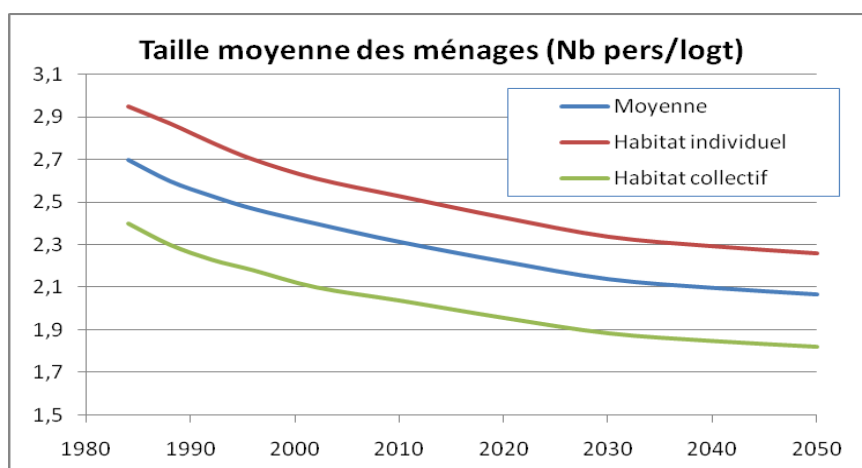


Figure 14. Evolution prospective de la taille moyenne des ménages

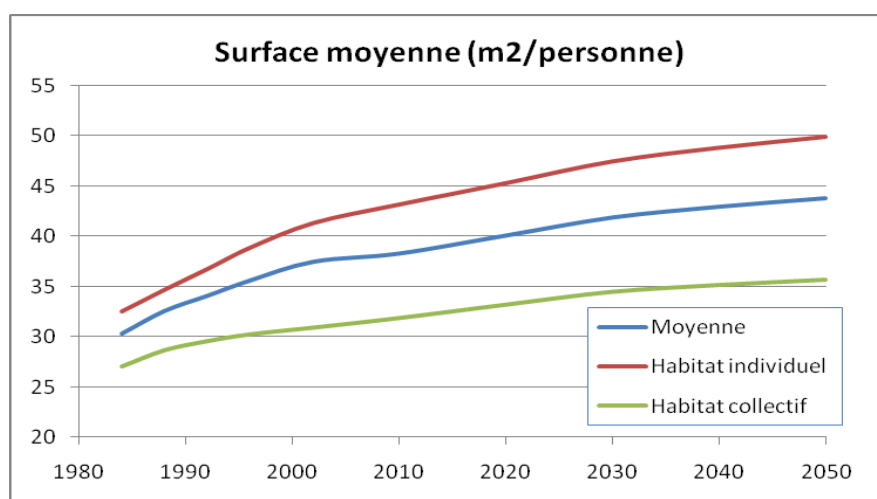


Figure 15. Evolution prospective de la surface moyenne habitable par personne

1.2.2.5 Affectation des surfaces à construire

L'estimation du nombre de logements neufs à construire, fondée sur le nombre supplémentaire de ménages entrant dans le parc augmentée des sorties, doit être complétée par une affectation des surfaces selon la typologie retenue (MI maisons individuelles et IC immeubles collectifs). La clé de répartition MI/IC est actionnée manuellement (par exemple pour suivre le tendanciel), ou couplée avec l'évolution du nombre de familles avec enfants, qui est la cible principale de la maison individuelle. Pour cette raison, la taille de la maison individuelle est stabilisée à 120 m², qui est la surface intermédiaire entre l'individuel pur (140 m²) et l'individuel groupé (proche de 100 m²), selon la tendance que l'on observe depuis une décennie. La population logée dans ces maisons individuelles est estimée, afin d'affecter le solde d'augmentation de population en logements en immeubles collectifs. Dans le but de permettre différentes hypothèses sur la part de maison individuelle en construction neuve, il convient de ne pas figer à priori la taille des logements en immeuble collectif, qui pourraient évoluer vers des grands logements. La surface de ces logements sera estimée à partir de la taille du ménage et de l'évolution de la surface habitable par personne.

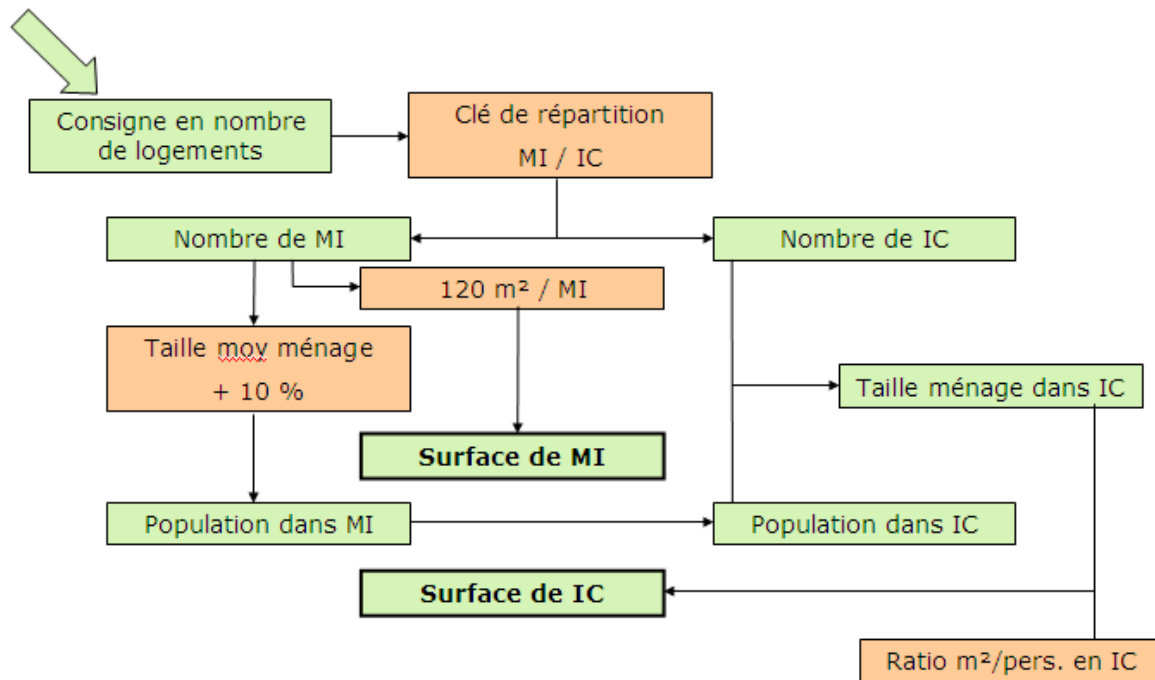


Figure 16. Organigramme du modèle prospectif de parc

1.2.2.6 La localisation de la construction neuve

La construction de logements collectifs n'est plus cantonnée aux grandes unités urbaines et se développe également dans les communes rurales. Mais l'étalement urbain sous forme de logements individuels diffus se poursuit dans les régions où la construction est la plus dynamique. Un tiers des logements sont construits dans des communes rurales en raison du faible coût du foncier, en grande partie sous forme de maisons individuelles.

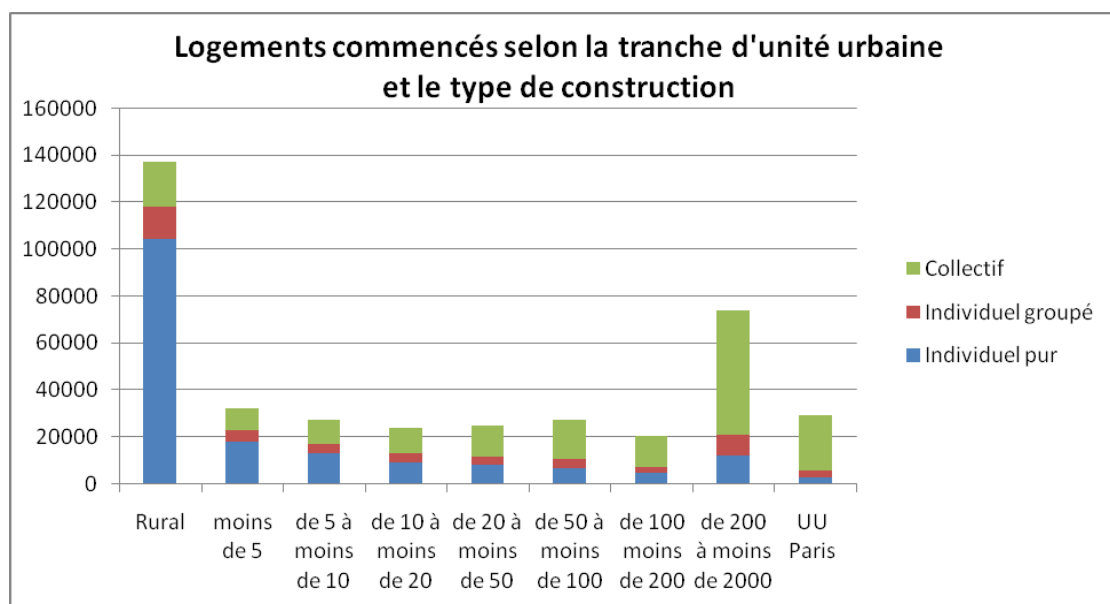


Figure 17. Répartition de la construction neuve selon la taille de l'unité urbaine

Tranche d'unité urbaine en milliers d'habitants. Tous logements, moyenne 2005-2007

Source : SOeS / SITADEL

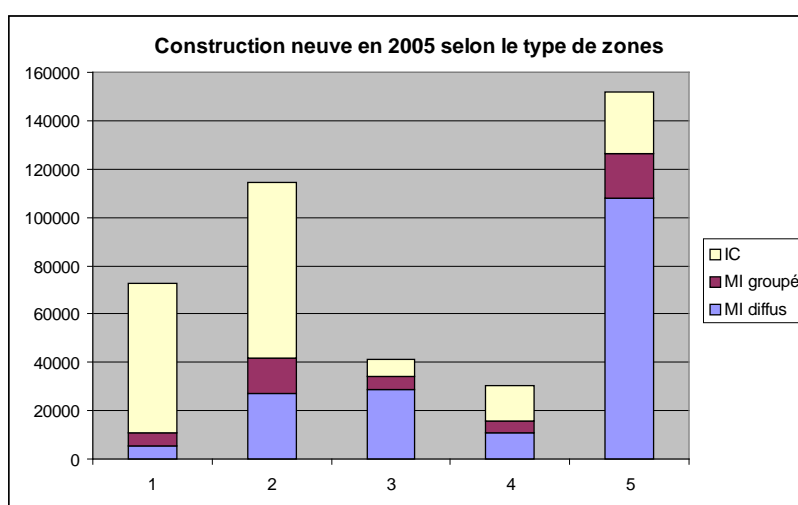


Figure 18. Répartition de la construction neuve (2005) selon la zone de l'aire urbaine

D'après : UNCMI, *Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité à début 2006*.

Zone 1 : Aire urbaine (unités de plus de 30.000 hab, ville centre) ;

Zone 2 : Aire urbaine, périphérie ;

Zone 3 : Rurbain, communes non urbaines dont plus de 40% des résidents actifs travaillent en zones 1 ou 2 ;

Zone 4 : Agglomérations secondaires (entre 2.500 et 30.000 habitants)

Zone 5 : Rural.

Le poids du parc situé dans les communes rurales, se renforce : 23,8 % des résidences principales y sont désormais implantées contre 23,0 % en 1998. En moyenne sur la période 1996-2006, seules les banlieues voient leur population augmenter à 100% en raison de leur solde naturel. La croissance des villes centres est modérée par un léger mouvement migratoire vers d'autres zones, tandis que le périurbain et le rural connaissent un solde migratoire positif important, venant plus que largement compenser la décroissance naturelle de la population dans le rural.

Tableau 7. Evolution de la localisation du parc de logements, en %

Localisation en métropole	1985	1990	1995	2000	2005	2006
Communes rurales	22,9	22,9	22,9	23,1	23,6	23,8
Unités urbaines de moins de 100 000 habitants	29,8	30,0	30,1	30,2	30,1	30,1
Unités urbaines de 100 000 habitants et plus	29,3	29,4	29,7	29,8	29,7	29,6
Agglomération parisienne	18,0	17,7	17,3	16,9	16,6	16,5
Ensemble	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Source : Compte du logement 2006

Champ : Ensemble des résidences principales, France métropolitaine

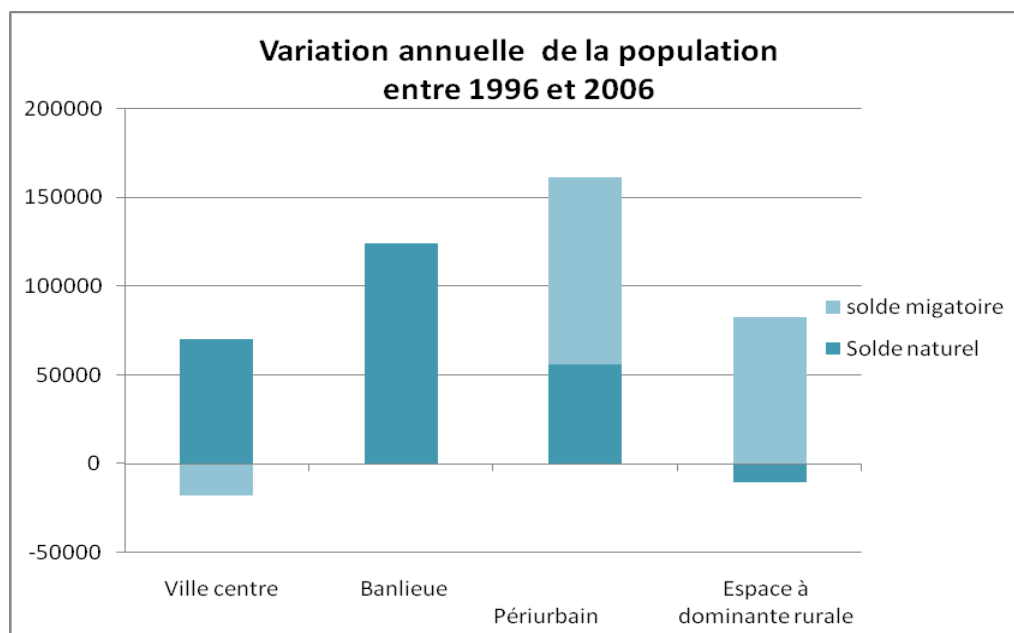


Figure 19. Variation annuelle de la population pour quatre types de territoire

1.2.2.7 Les taux de sortie, de logements vacants et de construction neuve doivent être mieux appréhendés.

Le modèle de dynamique du parc doit permettre de décrire l'évolution des différents segments, non seulement en raison de la région, mais aussi selon la typologie, la date de construction et la localisation dans les différentes zones des aires urbaines. Le taux de sortie, au départ uniforme, essentiellement basé sur la rapport (destructions) / (stock RP + vacants), soit 0,12% en moyenne métropole dans la période récente, dépend en réalité des dynamiques urbaines que nous chercherons à décrire à l'horizon 2050. Il conviendra de le discrétiser, en fonction de la période de construction, de la typologie MI/IC et du type de commune.

Pour les logements neufs, le nombre de logements déclarés et commencés de 1994 à 2004 est donnée par commune dans la base SITADEL. Les variables connues sont la typologie de logement (MI/IC) ainsi que la surface des logements construits (SHON). Il conviendrait d'enrichir la base de données, par :

- la typologie architecturale par un classement en quatre types de maisons individuelles (longère, R+1 isolée, R+1 mitoyenne, maison de ville) et deux types d'immeubles collectifs, selon le nombre d'étages ;
- les surfaces habitables (Slogt ou S/personne) par typologie ;
- les statuts d'occupation.

Une étude paramétrique pourrait être établie sur deux fonctions possibles pour les 2 classes en immeuble collectif :

- le seuil de passage entre les deux types de chauffage central, collectif ou individuel (CCC/CCI) ;
- l'effet de contiguïté verticale et horizontale (valeur Surface enveloppe / Shabitable).

1.3 Tâche B2 : Analyse énergétique et morphologique du parc de logements.

1.3.1 Le contexte réglementaire et technologique

1.3.1.1 La construction neuve et le niveau BBC (bâtiment basse consommation)

Les travaux du Grenelle de l'environnement ont accéléré le rythme et les exigences des différentes étapes de la réglementation dans le secteur du bâtiment, pour lequel les actions sont le mieux identifiées. En particulier, le projet de loi relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (PLG1) fixe deux dates pour les logements neufs :

- 2012 : généralisation des logements neufs à basse consommation (niveau dénommé BBC, à 50 kWhEP/m² SHON, kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré de surface hors œuvre nette) ;
- 2020 : pour toutes les constructions neuves, la consommation d'énergie primaire doit être inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions et notamment le bois-énergie (niveau dénommé BEPOS, bâtiment à énergie positive).

Pour la construction neuve, nous considérons que le niveau BBC s'applique de façon constante à 2050, en ce qui concerne les exigences d'isolation du bâti et les déperditions par renouvellement d'air (qui s'exprimeront par les besoins de chauffage en énergie utile).

Les systèmes énergétiques évoluent vers des rendements plus élevés, notamment pour les pompes à chaleur électriques, qui se généraliseraient dans le marché de l'électricité, dès 2012, par disparition des systèmes à effet Joule.

La cogénération apparaîtrait dans l'immeuble collectif (avec équipements de chauffage central collectif, CCC) dès 2010 pour le gaz et en 2015-2020 pour le bois. La microcogénération gaz pourrait s'introduire en maison individuelle dès 2010-2015. Cela affecterait les rendements de génération de chaleur, qui décroîtraient dans ce cas, au profit d'une production décentralisée d'électricité.

Tableau 8. Rendements de génération des systèmes dans le neuf (2005-2050)

Rendements moyens NEUF	2005- 2010	2010- 2015	2015- 2020	2020- 2025	2025- 2030	2030- 2050
Bois MI CCI Chauffage	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
ECS	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Efficacité élec	-	-	-	-	-	-
Bois IC CCC Chauffage	0,75	0,75	0,7125	0,675	0,6375	0,6
ECS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Efficacité élec	0	0	0,0375	0,075	0,1125	0,15
Gaz MI CCI Chauffage	0,95	0,9125	0,925	1,05	0,85	0,7
ECS	0,85	0,8125	0,775	0,85	0,7	0,55
Efficacité élec	0	0,075	0,225	0,15	0,2625	0,3375
Gaz IC CCC Chauffage	0,9525	0,9625	0,9375	0,9	0,7	0,7
ECS	0,89	0,85	0,7625	0,725	0,5875	0,5875
Efficacité élec	0,015	0,075	0,1875	0,225	0,3375	0,3375
PAC él. MI CCI Chauffage	1,9*	3,27	4,125	4,35	4,49	4,625
ECS	1,2*	1,95*	2,25	2,25	3	3
Efficacité élec	-	-	-	-	-	-
PAC él. IC CCC Chauffage	1,12*	2,175	3,86	4,16	4,28	4,4
ECS	1*	1,7*	3	3	3	3
Efficacité élec	-	-	-	-	-	-

(*) En 2005-2010, la part de l'effet Joule reste importante en chauffage, et jusqu'en 2015 pour la production d'ECS.

(Source : Etude CLIP, Edf, Gdf-Suez, 2009)

1.3.1.2 Les objectifs de réhabilitation du parc existant

L'objectif du PLG1 pour le parc des bâtiments existants est de réduire les consommations d'énergie d'au moins 38 % d'ici à 2020. Une des mesures envisagées est de cibler en priorité les 800.000 logements sociaux dont la consommation annuelle d'énergie est supérieure à 230 kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré pour les ramener à des valeurs inférieures à 150 kWhEP/m², avant 2020. Pour le parc privé, l'atteinte de l'objectif supposerait une rénovation complète de 400.000 logements chaque année à compter de 2013.

De la même manière que pour la construction neuve, les rendements des systèmes énergétiques de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire seront croissants entre 2005 et 2015, sauf dans le cas de la cogénération, qui pourrait dégrader les rendements de production de chaleur, compte tenu de la part de combustible (bois ou gaz) contribuant à la production d'électricité.

Tableau 9. Rendements de génération des systèmes en réhabilitation (2005-2050)

Rendements moyens REHABILITATION	2005- 2010	2010- 2015	2015- 2020	2020- 2025	2025- 2030	2030- 2050
Bois MI CCI Chauffage	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
ECS	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Efficacité élec	-	-	-	-	-	-
Bois IC CCC Chauffage	0,75	0,75	0,71	0,68	0,64	0,60
ECS	0,7	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Efficacité élec	0	0,00	0,04	0,08	0,11	0,15
Gaz MI CCI Chauffage	0,9	0,86	0,79	0,75	0,68	0,60
ECS	0,85	0,81	0,74	0,70	0,63	0,55
Efficacité élec	0	0,04	0,11	0,15	0,23	0,30
Gaz IC CCI Chauffage	0,9	0,86	0,79	0,75	0,68	0,53
ECS	0,85	0,81	0,74	0,70	0,63	0,48
Efficacité élec	0	0,04	0,11	0,15	0,23	0,38
Gaz IC CCC Chauffage	0,9	0,83	0,64	0,53	0,49	0,45
ECS	0,9	0,81	0,60	0,48	0,44	0,40
Efficacité élec	0	0,08	0,26	0,38	0,41	0,45
PAC él. MI CCI Chauffage	3,1	3,60	4,08	4,36	4,47	4,58
PAC él. IC CCI Chauffage	3	3,5	4	4,3	4,4	4,5
PAC él. IC CCC Chauffage		2,5	2,9	3,2	3,4	3,5

1.3.1.3 Le bâtiment à énergie positive et la production du solaire photovoltaïque

Dans la perspective du bâtiment à énergie positive dès 2020, il convient de connaître la productivité du solaire photovoltaïque, lorsque cette solution de compensation sera choisie. Elle est supposée croissante entre 2010 et 2050, grâce aux gains de rendement obtenus ou projetés par la filière : l'exercice de prospective de l'association européenne des industriels du secteur, l'EPIA⁸ indique que le PV se sera imposé avant 2030 en tant que source d'électricité significative dans un marché en croissance continue et à taux élevé. En se fondant sur cette étude, une croissance régulière de la productivité annuelle des panneaux peut être dressée à l'horizon 2050.

Tableau 10. Evolution des productivités PV en énergie finale pour les trois grandes zones climatiques.

(kWh/m ² /an)	2020	2030	2040	2050
Ppv H1	115,20	124,80	134,40	144,00
Ppv H2	127,2	137,8	148,4	159
Ppv H3	154,8	167,7	180,6	193,5

Panneaux (sud, 30°), valeurs sensiblement constantes pour les inclinaisons comprises entre 17° et 50°.

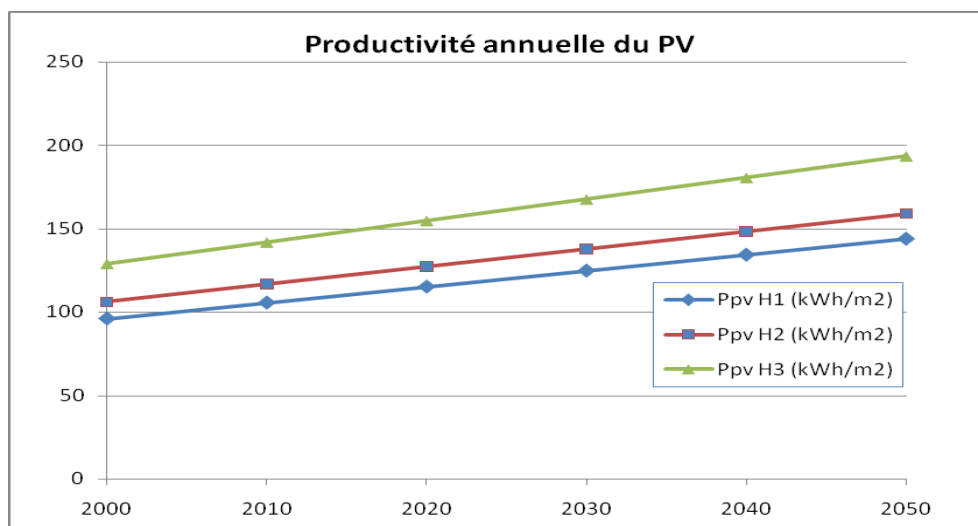


Figure 20. Projection de la productivité annuelle du photovoltaïque à 2050, en kWh énergie finale par mètre carré de panneau, pour les trois zones climatiques.

⁸ Cf. A Vision for Photovoltaic Technology, report du Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), Communauté européenne, 2005.

1.3.2 Les consommations énergétiques de chauffage

1.3.2.1 Les consommations de chauffage en 2005

En 2005, le chauffage représente toujours une part importante des consommations énergétiques du logement, à plus de 70%.

Tableau 11. Répartition des consommations énergétiques dans le parc de résidences principales en 2005 (en TWh, énergie finale)

Postes \ Energies	Charbon	Fioul	GPL	Gaz	Elec.	Bois	EnR	Total	(en %)
Chauffage	3,00	93,20	9,10	151,8	34,8	87,90	3,90	383,70	70,4%
ECS	0,4	11,40	2,30	19,8	19,5		0,2	53,60	9,8%
Cuisson		0,00	9,80	12,8	11,1			33,70	6,2%
Elec. spécifique					73,7			73,70	13,5%
Total	3,40	104,60	21,20	184,40	139,10	87,90	4,10	544,70	100%

Sources : DGEMP 2003 et calage EdF/GdF-Suez à partir des données CEREN

Les consommations unitaires de chauffage (en kWh/m²/an) sont dépendantes de la typologie (maison individuelle, immeuble collectif), et de la région climatique. La différence entre les deux typologies est d'importance variable selon la zone climatique : elle varie d'environ -20% pour les zones H1 et H2, et de -13% pour la zone H3, entre la maison individuelle et l'immeuble collectif.

Tableau 12. Valeurs moyennes de consommations de chauffage en 2005

En kWh/m ² SHAB/an	Zone H1	Zone H2	Zone H3	Moyenne
Maison individuelle	212	169	112	187
Logement en immeuble collectif	126	102	64	113
Moyenne	180	156	91	163

SHAB : surface habitable

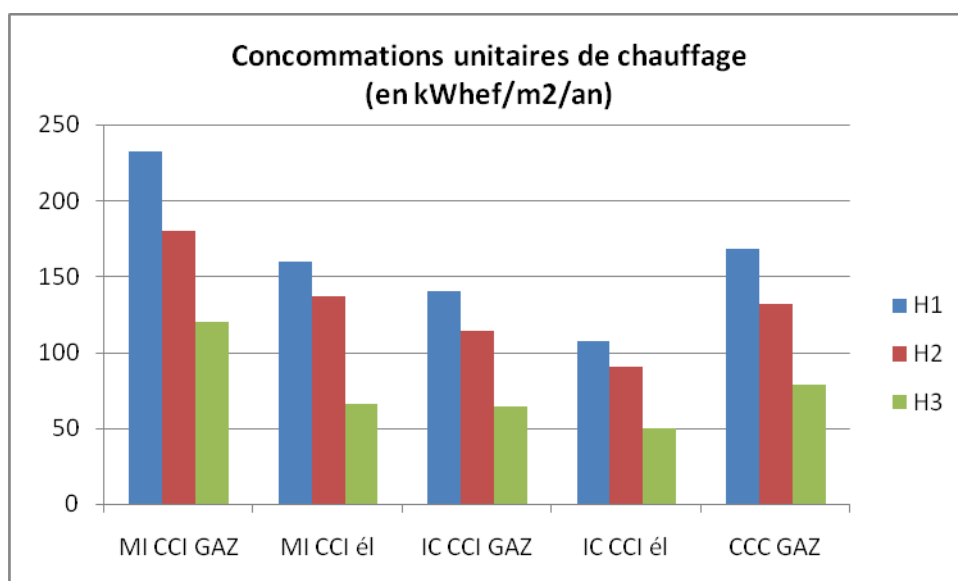


Figure 21. Consommations unitaires moyennes de chauffage en 2005 selon la zone climatique, la typologie, et l'équipement de chauffage

MI : maison individuelle ; IC : logement en immeuble collectif

CCI : chauffage central individuel ; CCC : chauffage central collectif

Le bois occupe une place importante dans les énergies de chauffage, de 20% en zone H1, à 28% en zone H2. L'importance des communes desservies par le gaz de réseau en zone H1 confère une place importante à cette énergie dans cette zone, à près de 35%, contre 25% en zone H2.

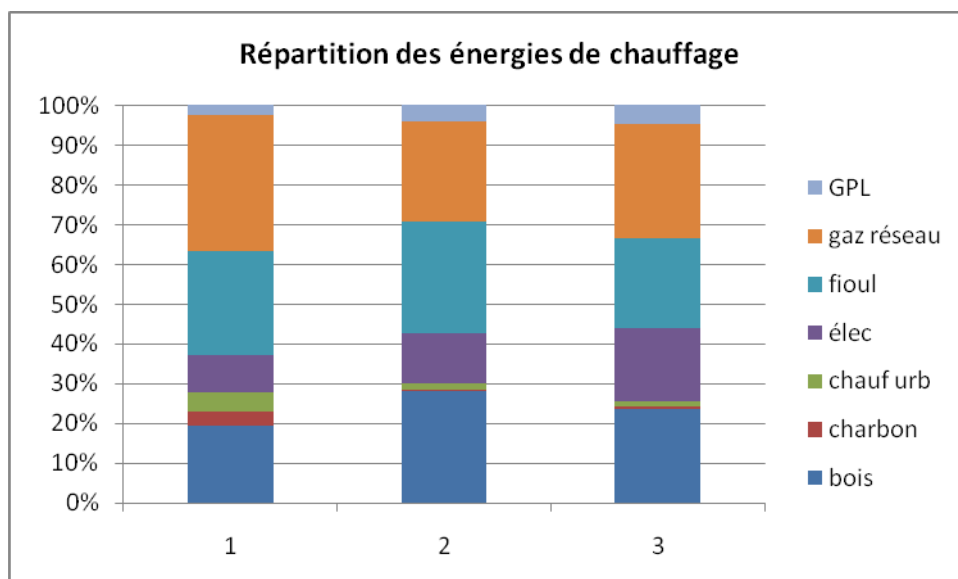


Figure 22. Répartitions des consommations énergétiques de chauffage en fonction de la zone climatique

1 : Zone H1, 2 : Zone H2 ; 3 : zone H3

1.3.2.2 Les perspectives de la construction neuve (2005-2050)

Les besoins de chauffage des deux typologies (maison individuelle et immeuble collectif) peuvent être estimés pour l'obtention du niveau BBC dès 2010 pour les trois zones climatiques, compte tenu des technologies disponibles. Ces besoins pourront être considérés constants jusqu'à 2050, l'amélioration des performances des systèmes énergétiques permettant alors d'obtenir de meilleurs résultats en énergie finale et en énergie primaire.

Tableau 13. Estimation des besoins et des consommations de chauffage du niveau BBC en 2010 et en 2050 (maison individuelle)

Maison individuelle CCI	Besoins constants (énergie utile) kWh/m ² /an (SHAB)	Rendements chauffage (°)	Consommation (énergie finale) kWh/m ² /an (SHAB)
		2010 / 2050	2010 / 2050
H1 gaz	33	0,82 / 1,46	40,4 / 22,6
H1 PAC élec	33	2,81 / 3,98	11,7 / 8,3
H1 bois	33	0,65 / 0,69	51,2 / 48,0
H2 gaz	22	0,82 / 1,46	26,9 / 15,0
H2 PAC élec	22	2,81 / 3,98	7,8 / 5,5
H2 bois	22	0,65 / 0,69	34,1 / 32,0
H3 gaz	15	0,82 / 1,46	18,4 / 10,3
H3 PAC élec	15	2,81 / 3,98	5,3 / 3,8
H3 bois	15	0,65 / 0,69	23,3 / 21,8

(°) Hors rendement de génération, on considère que le rendement total (distribution*émission*régulation / programmation) est de $0,92*0,95*0,95/0,97 = 0,86$ pour les systèmes de chauffage central individuel. La technologie gaz est supposée ici centrée sur la seule production de chaleur, évoluant progressivement de la chaudière à condensation vers la pompe à chaleur gaz (rendement de génération de 1,7 en 2050). Le COP de la PAC électrique en maison individuelle croît de 3,3 en 2010 à 4,6 en 2050.

Tableau 14. Estimation des besoins et des consommations de chauffage du niveau BBC en 2010 et en 2050 (immeuble collectif)

Immeuble collectif CCC	Besoins constants (énergie utile) kWh/m ² /an (SHAB)	Rendements chauffage (°)	Consommation (énergie finale) kWh/m ² /an (SHAB)
		2010 / 2050	2010 / 2050
H1 gaz	28	0,82 / 1,46	34,3 / 19,2
H1 PAC élec	28	1,87 / 3,78	15,0 / 7,4
H1 bois	28	0,65 / 0,69	43,4 / 40,7
H2 gaz	18	0,82 / 1,46	22,0 / 12,3
H2 PAC élec	18	1,87 / 3,78	9,6 / 4,8
H2 bois	18	0,65 / 0,69	27,9 / 26,2
H3 gaz	12	0,82 / 1,46	14,7 / 8,2
H3 PAC élec	12	1,87 / 3,78	6,4 / 3,2
H3 bois	12	0,65 / 0,69	18,6 / 17,4

(*) Les hypothèses ont été alignées sur le tableau précédent. Seule la PAC électrique a un rendement inférieur en immeuble collectif, sur la base d'un système AIR/AIR en 2010 (COP de 2,7), évoluant vers des systèmes plus performants en 2050 (COP de 4,4).

(°) On considère que 1 mètre carré de surface habitable correspond à 1,10 m² SHON en immeuble collectif.

Les différents postes de consommation considérés dans la réglementation (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, ventilation, auxiliaires, éclairage) pourront décroître par amélioration des technologies, selon les deux tableaux suivants, qui décrivent la situation de départ (2010 par anticipation).

Les valeurs des besoins de chauffage ont été calées pour l'obtention du niveau BBC, qui est exprimé en énergie primaire et par mètre carré de SHON.

Tableau 15. Décomposition du niveau BBC, maison individuelle en 2010 (en kWhep/m2 SHON)

Zone climatique (°)	Eclairage	VMC HygroB	Auxiliaires	ECS (*)	Chauffage	TOTAL
H1						
Gaz	8	5	6	12	35,1	66,1
PAC él.	8	5	6	20	26,3	65,3
Bois	8	5	6	20	26,7	65,7
H2						
Gaz	7	4	5	11	23,4	50,4
PAC él.	7	4	5	16	17,6	49,6
Bois	7	4	5	16	17,8	49,8
H3						
Gaz	6	4	4	9	16,0	39,0
PAC él.	6	4	4	15	12,0	41,0
Bois	6	4	4	15	12,1	41,1

(°) En réalité, les zones climatiques « BBC » recouvrent partiellement les zones de la RT2005

(*) L'obtention du niveau BBC intègre une contribution du solaire thermique de 50% environ.

Tableau 16. Décomposition du niveau BBC, immeuble collectif avec chauffage central collectif (CCC) en 2010 (en kWhep/m2 SHON)

Zone climatique	Eclairage	VMC HygroB	Auxiliaires	ECS (*)	Chauffage	TOTAL
H1						
Gaz	6	3,5	2	22	31,2	64,7
PAC él.	6	3,5	2	21	35,1	67,6
Bois	6	3,5	2	28	23,7	63,2
H2						
Gaz	5	3,5	2	20	20,0	50,5
PAC él.	5	3,5	2	18	22,6	51,1
Bois	5	3,5	2	24	15,2	49,7
H3						
Gaz	5	3,5	2	16	13,4	39,9
PAC él.	5	3,5	2	15	15,0	40,5
Bois	5	3,5	2	20	10,1	40,6

(*) L'obtention du niveau BBC intègre une contribution du solaire thermique de 50% environ.

Les scénarios, présentés en partie 3, indiqueront les répartitions des effectifs par énergie, selon les hypothèses de parts affectées à chaque énergie.

1.3.2.3 La réhabilitation du parc existant, de construction antérieure à 2005

L'identification des gestes de réhabilitation (bâti et système) concerne le parc construit avant 2005. On peut estimer les besoins (ou l'énergie utile) conventionnels unitaires de chauffage (établis par la méthode de la réglementation thermique de 1989, TH89), caractérisant l'état théorique du bâti et des équipements de ventilation, à une valeur moyenne de 227 kWh/m² SHAB/an pour les maisons individuelles et de 163 kWh/m² SHAB/an pour les logements en immeubles collectifs, qui se répartissent de façon assez contrastée selon la période de construction et la zone climatique.

Tableau 17. Besoins unitaires conventionnels (kWh/m² SHAB/an) de chauffage en 2005

Date de construction	Av. 1948	1949-1975	1976-1989	1990-1999	Moyenne
H1 MI	307	280	192	103	260
H1 IC	222	200	121	64	175
H2 MI	250	220	150	81	200
H2 IC	175	175	103	48	165
H3 MI	170	170	130	55	140
H3 IC	115	115	80	35	100
Moyenne MI	227				
Moyenne IC	163				

(MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif)

Source : Traisnel, 2001, Cahier du CLIP n° 13.

Pour réduire de façon notable les besoins de chauffage, il convient de distinguer les modes d'intervention selon la typologie du parc. Il est par exemple utile de distinguer le parc qui supporterait une réhabilitation lourde, avec isolation thermique par l'extérieur (ITE), (notamment pour le parc social 1949-1975), du parc pour lequel des gestes plus légers seraient basés sur des techniques actuelles largement fondées sur l'isolation thermique par l'intérieur (ITI). Cette seconde solution s'imposerait lorsque les critères architecturaux interdisent le recours à l'ITE (maçonneries appareillées, modénature architecturale particulière, etc.), et éventuellement lorsque les règles d'urbanisme écarteraient le traitement des pignons et des façades sur rue (en cas d'empiètement sur le domaine public), mais ici nous considérerons que ces contraintes sont levées.

Une hypothèse simplificatrice, permettant de développer des scénarios contrastés entre énergies de substitution, veut que l'application des règles de réhabilitation des logements, selon leur typologie architecturale, soit indépendante du scénario énergétique. La performance du bâti demeure privilégiée, jusqu'à la « saturation » possible de cette première voie de MDE (maîtrise de la demande en énergie dans le bâtiment).

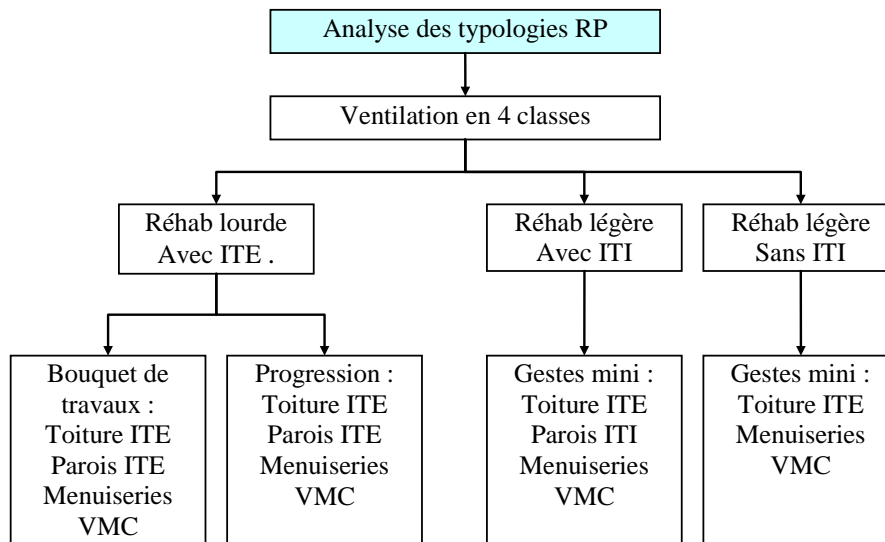


Figure 23. Arbre de décision pour les gestes « bâti »

Il serait possible d'identifier les bâtiments pour lesquels une réhabilitation lourde avec ITE serait réalisée, sous forme de bouquet de travaux complet, par opposition au cas d'une répartition des gestes au rythme de la durée de vie des parties d'ouvrages. Cette seconde catégorie pourrait répondre à certains statuts d'occupation, par exemple l'immeuble collectif en copropriété. Mais à terme, l'impact cumulé est le même : seule la vitesse de réalisation et la répartition des coûts dans le temps changent.

En réhabilitation légère, on considère qu'un ensemble de gestes est toujours faisable (gestes « mini ») :

- L'isolation de la toiture (ITE toits terrasses ou ITI charpente/couverture)
- La pose de menuiseries performantes
- L'installation d'une VMR ou d'une VMC (ventilation mécanique répartie ou contrôlée), qui serait associée à la rénovation des menuiseries, afin de garantir la nécessaire aération des locaux en relais de la ventilation naturelle.

Dans cette situation, la décision du rejet ou non de l'isolation thermique par l'intérieur (ITI) pourrait dépendre de la zone climatique, H1, H2, H3, en considérant la question du confort d'été, éventuellement de la situation urbaine (rejet dans le cas d'une charge foncière élevée, en zone centre). Mais cela risque de dégrader fortement le facteur moyen de réduction des besoins de chauffage. Pour cette raison, nous introduisons une isolation thermique par l'intérieur lorsque l'ITE est impossible, en considérant qu'une intégration de matériaux à changement de phase compenserait la perte d'inertie thermique, et permettrait de réduire les épaisseurs à mettre en œuvre.

Pour représenter les deux familles, la première (réhabilitation lourde) pouvant toucher en priorité la construction intensive, la seconde que nous associerons à la construction ancienne, faisant appel à la maçonnerie appareillée (briques, moellons, pierre de taille), les coefficients de réduction des besoins sont différenciés selon la période de construction.

Tableau 18. Différenciation des taux de réduction des besoins de chauffage en fonction de la date de construction.

Date de construction	Av. 1948	1949-1975	1976-1989	1990-1999
Taux de réduction des besoins	- 50%	- 70%	- 60%	- 50%

Ces taux estimés sur des exemples de bâtiments, donnent les besoins après réhabilitation, la moyenne de gains sur les besoins étant d'environ 60%, sur les besoins conventionnels.

En réalité, les consommations de départ sont inférieures à leur estimation à partir des besoins conventionnels, en raison des travaux de réhabilitation partiels déjà effectués, ainsi que des mesures de limitation des factures de chauffage, par réduction des niveaux de confort.

Tableau 19. Besoins unitaires, en kWh/m² SHAB, après réhabilitation du bâti

Date de construction	Av. 1948	1949-1975	1976-1989	1990-1999	Moyenne
H1 MI	140	75	72	51	100
H1 IC	100	55	50	30	75
H2 MI	110	60	60	40	80
H2 IC	75	40	35	25	50
H3 MI	90	45	42	30	60
H3 IC	55	22	20	17	35
Moyenne MI	89				
Moyenne IC	65				

(MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif)

Les besoins estimés après réhabilitation permettent néanmoins de déterminer les consommations après renouvellement des systèmes, les rendements étant supposés en croissance linéaire entre 2010 et 2050.

Tableau 20. Consommations unitaires de chauffage des logements réhabilités en énergie finale en 2010 (en kWh_{ef}/m²SHAB/an).

Zone climatique Typologie/chauffage	H1	H2	H3
MI CCI PAC	39	32	24
MI EJ ELEC	98	88	56
MI CCI GAZ	130	105	79
MI CCI BOIS	163	131	98
MI AIC Bois + élec.	132	118	75
IC CCI PAC	29	21	12
IC CCI ELEC	72	53	30
IC CCI GAZ	73	56	35
CCC PAC	30	23	15
CCC GAZ	84	65	41
CCC CHU	90	79	57
CCC BOIS	105	82	52

MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif ;

AIC : appareil indépendant de chauffage ; CCI : chauffage central individuel ; CCC : chauffage central collectif ; CHU : chauffage urbain

1.3.3 Les consommations énergétiques de production d'eau chaude sanitaire

1.3.3.1 L'évolution des consommations énergétiques depuis 1985

Les consommations totales d'eau chaude sanitaire ont augmenté plus rapidement que la population au cours des décennies précédentes : de 40,7 TWh en 1985, pour 55 millions d'habitants, elles ont atteint 47,6 TWh pour 58,8 millions d'habitants en 2000. Selon les données de la DGEMP, un pic de consommation apparaît en 2000, suivi d'une légère décroissance des consommations totales, bien que le CEREN indique une consommation de 50,6 TWh en 2005, qui apparaît plus en continuité des consommations antérieures à 2000 (Figure 29).

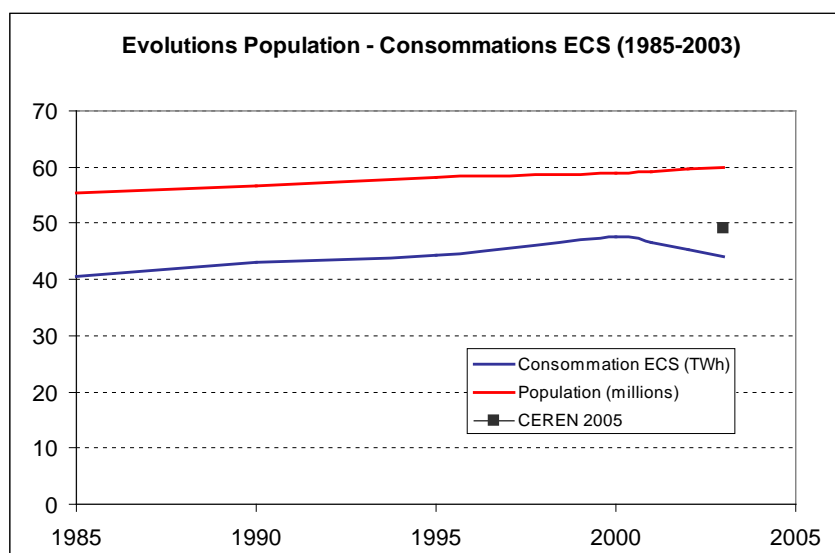


Figure 24. Evolutions comparées de la population et de la consommation d'énergie de production d'eau chaude sanitaire

Consommations ECS 1985-2003 : données DGEMP-Observatoire de l'énergie, 05/12/2005.

Quatre énergies dominent la production d'eau chaude sanitaire en 2003 : l'électricité (44%), le gaz de réseau (31%), le fioul (18%), et le GPL (6%).

Tableau 21. Consommations ECS par énergie

Energie (TWh)	1985	1990	2003
Gaz	9,81	10,62	13,77
Fioul	15,12	13,95	8,14
GPL	3,82	3,82	2,55
Electricité	10,9	13,3	19,4
Autres (°)	1	1,4	0,3
TOTAL	40,64	43,09	44,16
CO2 Mt	7,58	7,59	6,44

(°) Calage sur les différentes données DGEMP-Observatoire de l'énergie (05/12/2005).

Le fioul décline lentement, bien que les données récentes de la DGEMP indiquent une chute plus rapide depuis 2000, qui peut être liée à l'augmentation des prix du combustible fossile : en conséquence, les émissions totales de CO2 sont en légère décroissance. La part grandissante de l'électricité, à faible contenu CO2 pour la production d'ECS (à 40 gCO2/kWh), est aussi un facteur favorable à cette diminution des émissions de CO2.

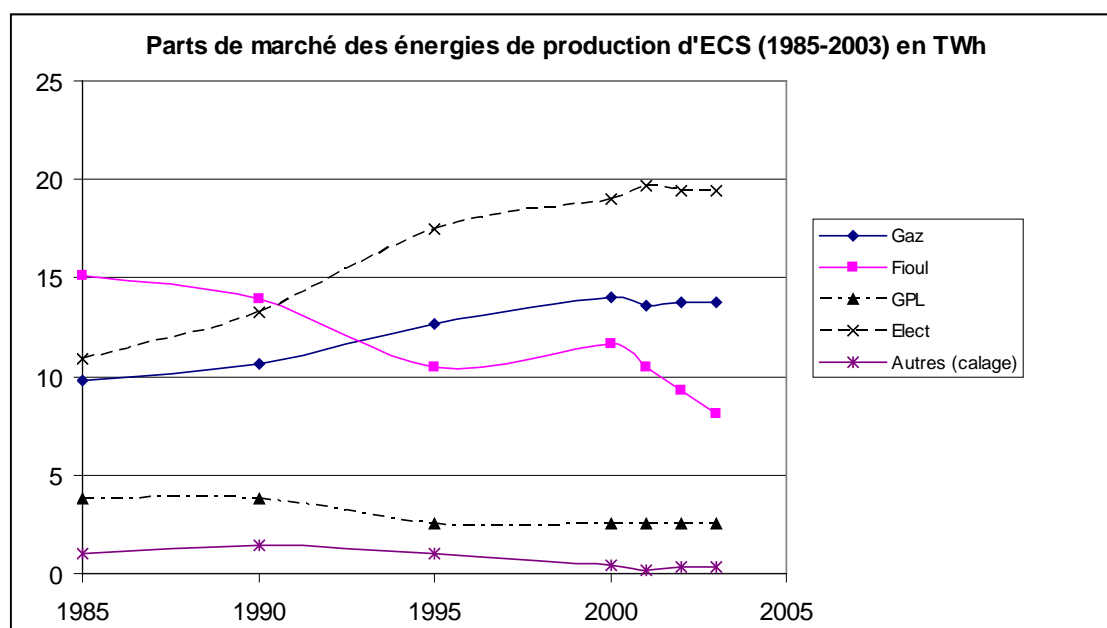


Figure 25. Evolution des parts de marché des énergies de production d'eau chaude sanitaire (1985-2003)

Consommations ECS 1985-2003 : données DGEMP-Observatoire de l'énergie, 05/12/2005.

1.3.3.2 Méthode d'évaluation prospective des besoins par personne

Les besoins d'eau chaude sanitaire (que l'on peut exprimer en énergie utile) sont supposés être affectés à la personne. Deux types de besoins doivent être distingués :

- les besoins théoriques basés sur une consommation conventionnelle d'eau chaude par personne et par jour, dépendant de la température de l'eau, donc de la saison et de la localisation ;
- les besoins réels, ou effectifs, qui représentent en réalité une consommation d'eau chaude que l'on constate inférieure à la norme, bien que la part de population équipée pour satisfaire les besoins théoriques approche 98%.

La méthode utilisée comporte trois étapes :

- l'estimation par le calcul conventionnel des besoins théoriques en énergie utile (kWh/an/pers.) selon la température de l'eau, dépendant de la zone climatique, estimation qui sera considérée comme une borne supérieure à l'évolution tendancielle des besoins par personne ;
- la définition d'un taux dit de satisfaction (besoins constatés/besoins théoriques) ;
- l'application de mesures d'économie de consommation d'eau sur la norme conventionnelle, par l'introduction progressive d'un taux de 30%.

L'écart constaté entre les besoins réellement satisfaits et la norme montre que les gestes d'économie d'eau peuvent être généralisés à l'horizon de 2050, mais sur la base d'un confort étendu à la totalité de la population.

L'évolution des besoins unitaires par personne sera dressée sur cette base, selon la double loi d'un passage à 100% de taux de satisfaction dès que celui-ci est atteint par extrapolation tendancielle, en introduisant simultanément un taux de réduction (d'économie d'eau) de 1 en 2010 à 0,7 en 2050.

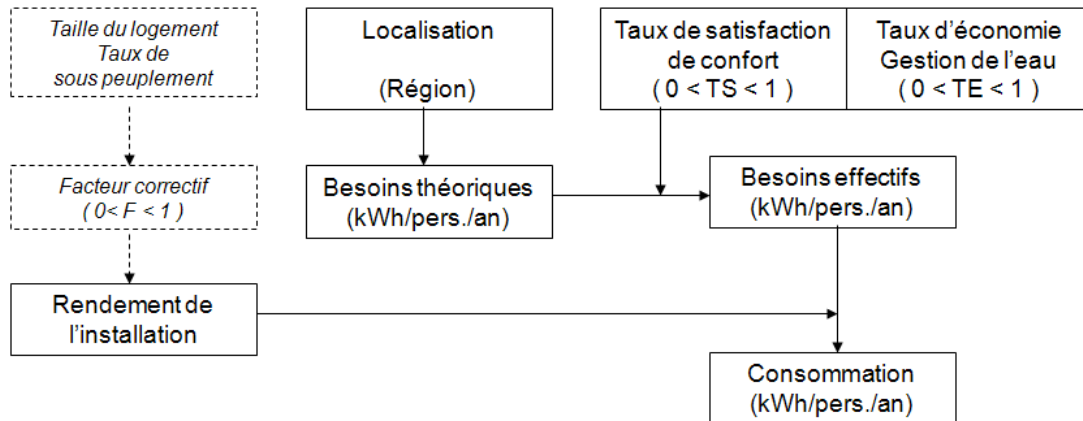


Figure 26. Procédure d'estimation des consommations unitaires d'énergie pour la production d'ECS

(A ce stade, la correction selon le taux de sous peuplement n'est pas prise en compte)

Les besoins théoriques Becs (en kWh) peuvent être calculés par la méthode 3CL, à partir de la température de moyenne de l'eau froide Tef et de la surface habitable SH :

$$\text{Becs} = 1,163 * \text{Qecs} * (40 - \text{Tef}) * 48 / 1000$$

Avec: $\text{Qecs} = 470,9 * \text{LN}(\text{SH}) - 1075$

Pour des valeurs moyennes de Tef = 11,5°C, de SH = 90 m² et de 37 mètres carrés par personne, les besoins théoriques peuvent être estimés à 680 kWh/personne.

Cette valeur moyenne peut-être différenciée selon les zones climatiques. Une estimation des consommations annuelles, sur des bases forfaitaires de besoins journaliers à 45 litres/personne, pour une consommation répartie sur 335 jours par an, et une température de l'eau chaude produite à 50°, permet de produire des besoins par grande zone climatique, proches des résultats de la méthode 3CL.

Tableau 22. Estimation des besoins en eau chaude sanitaire pour trois zones climatiques

Zone climatique	Te ref	l/pers/jour	T ECS	Besoins (kWh/pers/an)
H1	10,5	45	50	693
H2	12	45	50	666
H3	14,5	45	50	622

Nous retiendrons ces valeurs moyennes, et en particulier la moyenne nationale de 680 kWh/personne/an, bien qu'en réalité, comme l'exprime la méthode 3CL, les quantités d'eau et d'énergie consommées par personne dépendent de la taille du logement. L'AICVF indique les besoins annuels, que l'on peut exprimer par personne, sur la base de l'occupation (1 pièce = 1 personne). Les valeurs semblent correspondre, pour un usage de 335 jours /an, à une élévation de température de l'eau de 35°C.

Tableau 23. Estimation des besoins en eau chaude sanitaire selon la taille du logement

Taille logement	l/j	kWh/an	kWh/pers/an
Logement 1 P	75	1020	1020
Logement 2 P	105	1420	710
Logement 3 P	150	1930	643
Logement 4 P	180	2440	610

D'après : Guide ECS AICVF (1991)

Pour évaluer les consommations d'énergie à partir de l'estimation des besoins, il conviendrait par conséquent de tenir compte du nombre de personnes occupant le logement, le rendement de l'installation pouvant être amélioré par la mutualisation des besoins. Par ailleurs, l'installation est en règle générale dimensionnée en fonction de la taille du logement (superficie en m² ou capacité d'accueil en nombre de personnes par logement), ce qui peut affecter le rendement de l'installation de production d'ECS (cf. notamment les rendements de stockage et de distribution), en cas de sous peuplement du logement. Un facteur correctif tenant compte de la taille du logement et du taux de sous peuplement pourrait être introduit, en distinguant pour le rendement de stockage :

- les systèmes accumulés (individuels en particulier) dont le rendement diminue avec le sous-peuplement ;
- les systèmes instantanés (ou micro-accumulés) dont le rendement est égal quelle que soit la quantité d'ECS fournie au premier ordre.

Il faut relever cependant que les pertes de stockage d'ECS sont récupérables pendant la saison de chauffage à condition que le stockage soit placé dans le volume chauffé (ce qui est souvent le cas avec les ballons électriques dans les appartements). En revanche pendant l'été, cette énergie perdue est susceptible de dégrader le confort d'été.

1.3.3.3 Estimation des rendements de production de l'ECS (analyse rétrospective)

La procédure d'estimation des besoins réels actuellement satisfaits suppose de connaître les rendements de production d'ECS :

$$R_{\text{tot}} = R_g \times R_d \times R_s$$

Avec R_{tot} : rendement total de production d'eau chaude sanitaire,

R_g : rendement de génération, dépendant de la performance du générateur et de l'énergie utilisée (ballon électrique, chaudière gaz, fioul, etc.).

R_d : rendement de distribution (0,9 dans le neuf, 0,8 dans l'existant)

R_s : rendement de stockage (0,9)

Sur la base de la méthode 3CL, on peut estimer les valeurs des rendements pour les différentes énergies sur la base des parts de marché et de la répartition des effectifs.

Tableau 24. Rendement total (Rtot)

Type d'énergie ECS	1985	1990	2000
Fioul	0,43	0,44	0,45
GPL	0,49	0,49	0,5
Gaz réseau	0,44	0,44	0,48
Chauffage urbain	0,5	0,5	0,5
Bois	0,25	-	-
Electricité	0,67	0,67	0,68

A partir de ces valeurs de Rtot, on en déduit les besoins totaux Btot :

$$B_{tot} = \sum (C_i * R_{tot_i})$$

Avec C_i : consommation de l'énergie i

R_{tot_i} : rendement moyen pour l'énergie i

Le rendement moyen varierait ainsi de 0,50 en 1985, à 0,55 en 2000. Les besoins réels apparaissent ainsi assez éloignés des besoins théoriques de 680 kWh/pers.

Tableau 25. Estimation des rendements moyens de production d'ECS

	1985	1990	2000
Consommations totales (TWh)	40,64	43,09	47,61
Somme des besoins réels (TWh)	20,49	22,43	26,37
Population (en millions)	55,30	56,62	58,8250
Besoins réels (kWh/pers)	370,55	396,16	448,26
Rendement moyen (besoins/consommations)	0,50	0,52	0,55

1.3.3.4 Taux de satisfaction des besoins en ECS et estimation projective des besoins à 2050

A partir de la double estimation des besoins théoriques moyens, et des besoins effectifs, on définit un taux de satisfaction moyen Tsm des besoins en ECS :

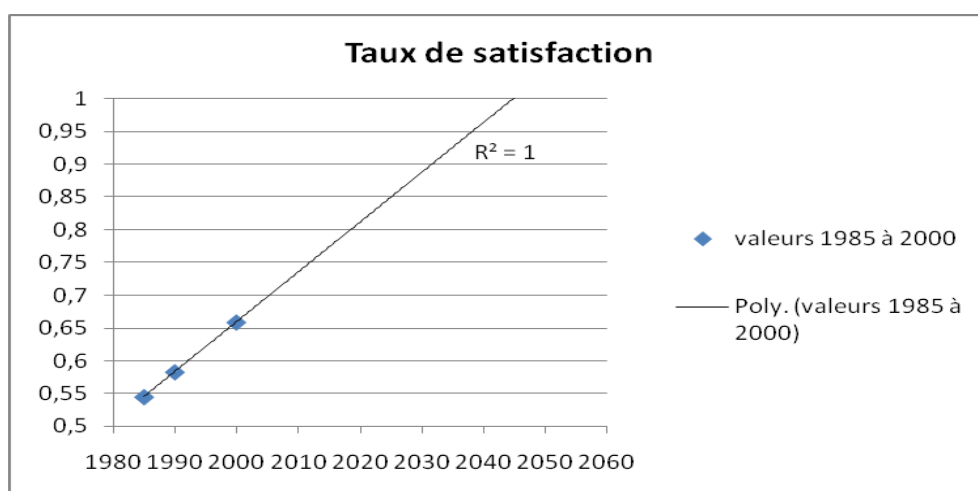
$$T_{sm} = \text{Besoins réels} / \text{Besoins théoriques}$$

Ce taux progresse légèrement entre 1985 et 2000. Les besoins théoriques sont fixés en moyenne à 680 kWh/personne/an.

Tableau 26. Estimation du taux de satisfaction moyen (production d'ECS, analyse rétrospective)

Année	1985	1990	2000
Taux de satisfaction	0,545	0,583	0,659

L'hypothèse du taux de satisfaction exprime que le calcul théorique des besoins représente la borne supérieure, qui n'est théoriquement jamais atteinte. La poursuite du taux de croissance actuel du rapport (besoins constatés/besoins théoriques) jusqu'en 2050 montre cependant que la valeur 1 serait atteinte en 2050 (cf. Figure 32).

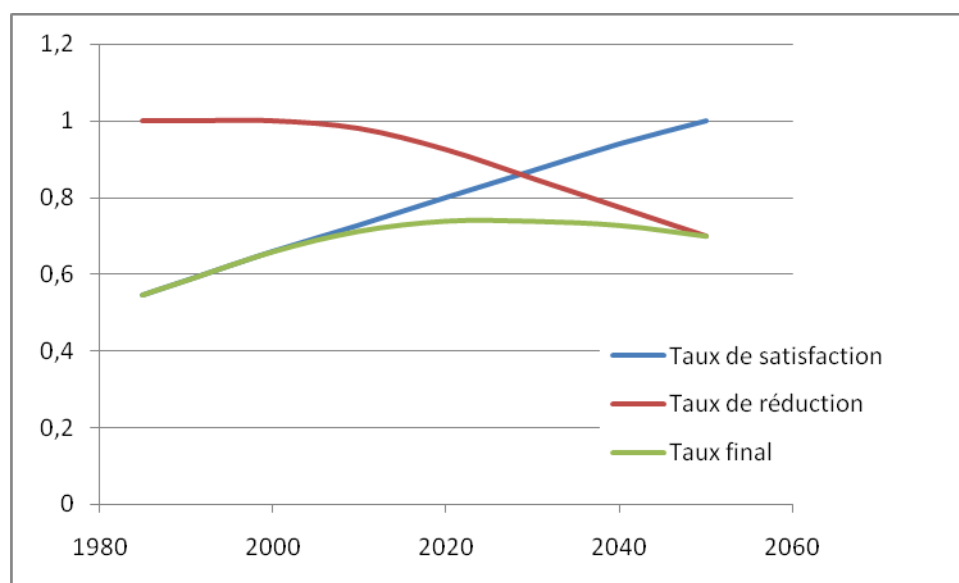
**Figure 27. Estimation du taux de satisfaction des besoins en eau chaude sanitaire**

Parallèlement à l'évolution de ce taux (réel/référence), il est également possible d'introduire un taux de réduction de la consommation d'eau, dû à des équipements plus économes. Les dispositifs actuellement sur le marché sont susceptibles d'entraîner une baisse de consommation d'eau chaude de 30% qui peut être adoptée dans un scénario volontariste tant vis-à-vis des ressources énergétiques que des ressources en eau. Ainsi leur généralisation à l'horizon 2050 peut se traduire par l'application d'un taux progressif de réduction des besoins, de 1 pour la période 1985-2005, à 0,7 en 2050. Il en résulte un taux final que nous pourrions appliquer aux besoins de références (obtenus par le calcul théorique) afin d'obtenir les besoins énergétiques pour la production d'ECS, servant de base au calcul des consommations.

Ce taux obtenu à l'échelle nationale pourrait en réalité être régionalisé : compte tenu des températures de l'eau plus élevées au départ en zone H3, il est probable que le taux de satisfaction serait également supérieur à la moyenne nationale.

Tableau 27. Taux de réduction des besoins en eau chaude sanitaire, projection 2050

	1985	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Taux de satisfaction (Ts)	0,545	0,583	0,659	0,728	0,8	0,87	0,94	1
Taux d'économie ou de réduction (Te)	1	1	1	0,98	0,925	0,85	0,775	0,7
Taux final (Te*Ts)	0,545	0,583	0,659	0,7134	0,74	0,7395	0,7285	0,7

**Figure 28. Estimation du taux final de réduction des besoins en eau chaude sanitaire**

Pour chaque année t , on calcule les besoins unitaires réels par personne B_u en fonction de la zone climatique i :

$$B_u(t, i) = B_{ecs}(i) * T_s(t) * T_e(t)$$

$B_{ecs}(i)$: besoins théorique (ou borne supérieure) de la zone climatique i (i : 1 à 3) en kWh/pers/an

$T_s(t) * T_e(t)$: taux final de réduction des besoins théoriques pour l'année t , calculé à l'échelle nationale.

Sur la base des besoins unitaires utiles, l'évolution des besoins totaux pour l'ensemble de la population peut être estimée : en énergie utile, ces besoins totaux croissent modérément en raison du taux de réduction, qui atteint 0,7 en 2050.

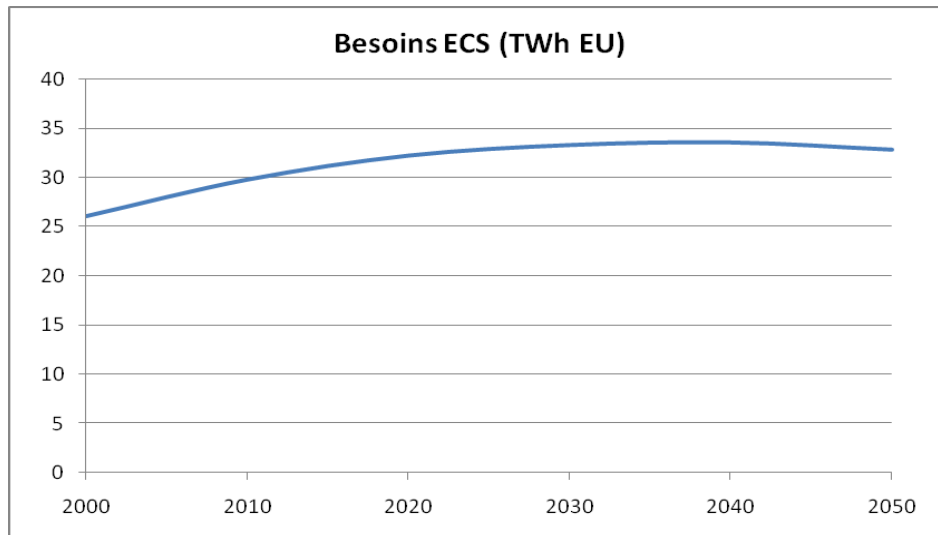


Figure 29. Evolution prospective des besoins totaux en eau chaude sanitaire

EU : énergie utile

1.3.3.5 Estimation des consommations unitaires destinées à l'eau chaude sanitaire

En écartant les corrections qui seraient liées au taux de sous peuplement⁹, on peut estimer pour une année t donnée, les consommations totales par logement Cecs à partir des besoins unitaires Bu (exprimées par personne), selon la zone climatique i, par l'expression :

$$C_{ecs}(t, i) = [Bu(t, i) - As(i)] * [1/R_{tot}(t)] * TM(t)$$

Cecs (t,i) en kWh/logt/an

Bu (t,i) en kWh/pers/an

As (i) : apports solaires thermiques de la zone climatique i rapportés à la personne en kWh/pers/an, en cas d'utilisation de panneaux solaires pour la production d'ECS.

TM (t) : taille du ménage, en nombre de personnes par logement pour l'année t.

R_{tot} (t) : rendement total de l'installation, pour l'année t (fixe pour la période de non renouvellement de l'installation).

Les besoins unitaires sont calculés à partir de la valeur théorique (dite borne supérieure) selon la zone climatique, affectée du coefficient (Ts*Te) défini plus haut. La taille du ménage a été estimée annuellement par région jusqu'en 2030, à partir de l'âge moyen de la population des ménages déduit des scénarios INSEE. Il conviendrait de l'appliquer en différenciant pour chaque région sa valeur selon la typologie (maison individuelle / immeuble collectif).

Le rendement total sera estimé à partir de deux rendements :

$$R_{total} = R_g * R_{ds}$$

R_g : rendement de génération selon le système et l'énergie

R_{ds} : rendement de distribution et de stockage pris ici de manière forfaitaire, R_{ds} = 0,8

⁹ Cette question mériterait d'être approfondie, notamment quand la taille du ménage décroît au cours des ans, pour une surface du logement constante.

Sans correction du taux de sous peuplement, les besoins par personne décroîtraient dès 2020 sous le double effet du taux de réduction introduit, et de l'augmentation des surfaces habitables par personne.

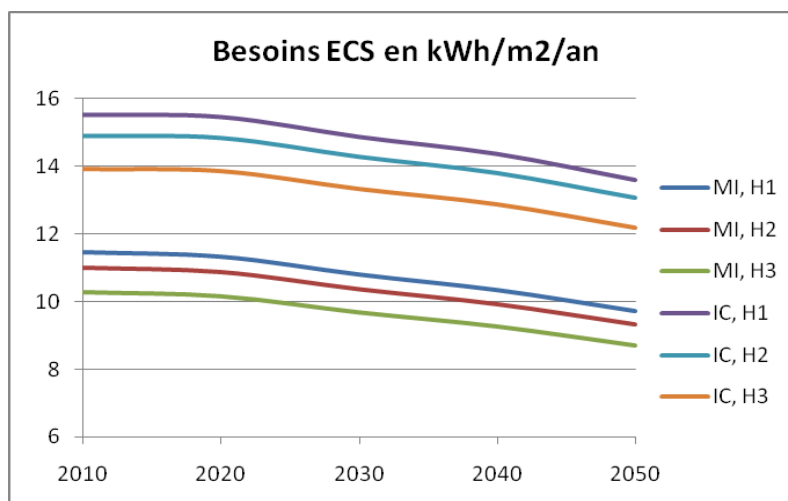


Figure 30. Besoins en eau chaude sanitaire, exprimés en kWh (énergie utile) par m2 de surface habitable, selon la zone climatique et le type de logement

La nécessité de respect de la réglementation thermique appliquée aux consommations unitaires se traduit par des évolutions technologiques tranchées. Pour une production d'eau chaude sanitaire par ballon électrique ($R_t = 0,7$) en zone H3, un niveau en énergie utile de 10 kWhEU/m2 entraîne une consommation en énergie finale de 14,3 kWhEF/m2 soit 37 kWhEP/m2 : cette consommation apparaît impossible au niveau BBC qui sera généralisé dès 2012. Cela rend obligatoire le recours au solaire thermique (à un minimum de 50%) associé à la recherche d'optimum technologique sur l'appoint.

1.3.3.6 Dimensionnement du solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire

La convention adoptée est de favoriser l'intégration généralisée du solaire dans le bâtiment, sans optimisation économique préalable, pour tout scénario énergétique :

- à 100% dans le neuf,
- et selon les caractéristiques urbaines et architecturales dans le parc existant.

La méthode SOLO-TECSOL donne des résultats proches des évaluations précédentes en termes de besoins, pour un logement individuel occupé par 3 personnes, de l'eau chauffée à 55°C, et une utilisation de 335 jours répartie sur les 12 mois. Le dimensionnement des panneaux solaires est effectué sur la base de 0,75 m² par personne, ce qui inférieur à la pratique actuelle (les installations courantes sont basées sur le taux de 1 m2 par personne, soit 4 m2 pour une maison individuelle), mais permet d'obtenir une productivité du mètre carré supérieure.

Tableau 28. Apports solaires pour une installation de 3 personnes (et 0,75 m2 de panneau par personne)

Zone climatique / Station	Besoins par personne	Besoins (3 pers)	Apports solaires (2,25 m2)	Couverture solaire	Apports solaires par m2
	KWh/an	KWh/an	KWh/an	(%)	KWh/m ² /an
H1 (Reims)	634	1902	821	43%	365
H2 (Poitiers)	617	1852	884	48%	393
H3 (Montpellier)	582	1745	977	56%	434

Hypothèses : panneau orienté sud, incliné à 30°, stockage de 180 litres pour 3 personnes.

En supposant que la productivité solaire reste constante entre aujourd'hui et 2050 et que la base de dimensionnement du solaire est stabilisée à 0,75 m2/personne quelle que soit la zone climatique, les apports solaires A_s par personne s'expriment selon la zone climatique par :

$$A_s(i) = 0,75 * A_u(i)$$

$A_u(i)$: apport solaire unitaire en kWh/m2/an, pour la zone climatique i

1.3.4 Les qualités énergétiques et environnementales liées à la morphologie

1.3.4.1 L'approche méthodologique

A ce stade d'analyse, la morphologie urbaine est directement liée aux paramètres suivants :

- les besoins énergétiques des logements, qui dépendent de la surface habitable ;
- les besoins de chauffage, par le taux de contiguïté des logements (nul par définition pour le pavillonnaire diffus)
- les possibilités de mutualisation des besoins (par réseaux de chaleur, par production décentralisée d'énergie) ;
- le taux de solarisation des toitures (surfaces disponibles, expositions favorables ou non) et des façades verticales ;
- le type de géothermie associée aux pompes à chaleur (géothermie de surface ou par forage vertical) ;
- les contraintes dimensionnelles du bois énergie.

Par ailleurs, l'impact est également important, en considérant la densité (en nombre de logements à l'hectare par exemple), sur l'occupation de territoire et sur les possibilités de desserte par les transports en commun, ou de l'offre de services de mobilité (exemple de l'autopartage), ce qui sera traité dans la tâche B3.

Une première définition de la morphologie peut être dégagée à partir des impacts environnementaux ainsi identifiés. Les deux paramètres principaux utilisés dans les études paramétriques qui concernent les consommations énergétiques dans la construction neuve seront :

- l'impact du choix typologique MI/IC (maison individuelle/immeuble collectif) ;
- le taux de contiguïté entre logements (maisons de ville ou petits collectifs en bande)

La question de la contiguïté pourra être étendue, du cas de la construction neuve, à celle de l'évolution du parc existant. En effet, la construction neuve peut favoriser la densification des tissus pavillonnaires, ce qui améliorerait la situation énergétique du parc existant.

On peut également estimer, dans le parc existant, le nombre de niveaux moyen de chaque typologie, qui a un impact sur les taux de solarisation des toitures destinée à la production d'eau chaude sanitaire et à la compensation photovoltaïque en bâtiment à énergie positive.

Les contraintes liées à d'autres thématiques environnementales (gestion des eaux pluviales en particulier) sont écartées dans cette étude. Il conviendrait néanmoins de prendre en compte les exigences de rétention des eaux pluviales en toiture, qui peuvent conduire à végétaliser les toitures en tout ou partie, un seul des deux équipements (panneau solaire ou couverture végétale) pouvant être choisi dans la configuration des toitures en pente. Pour les toitures terrasses, il est concevable d'associer les deux problématiques, avec des rendements moindres en occupation spatiale.

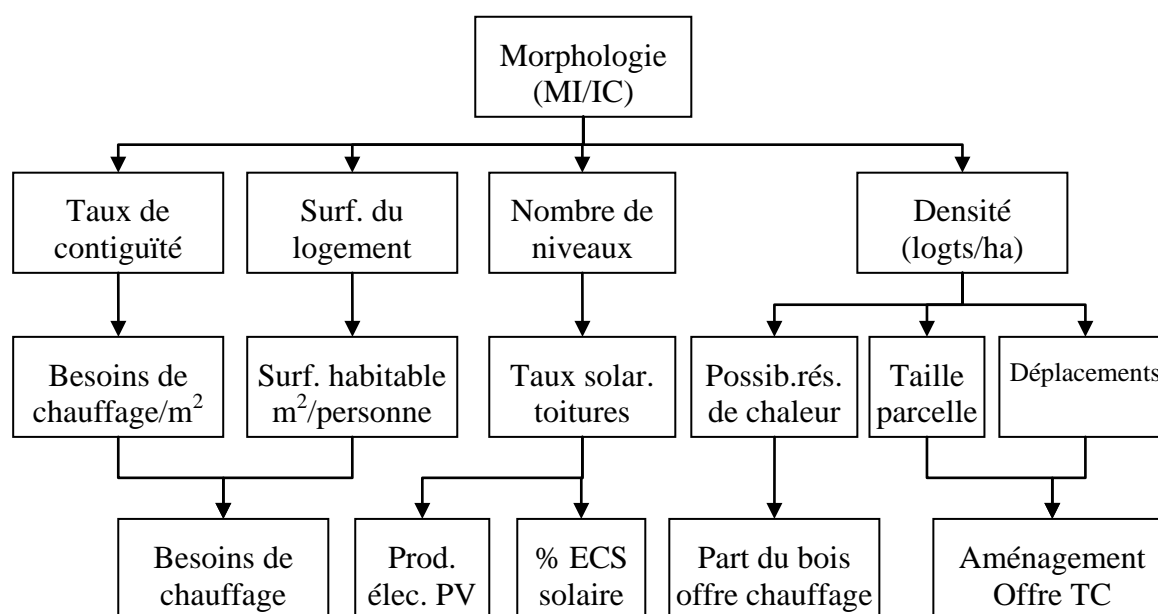


Figure 31. Méthodologie d'analyse morphologique du parc de logements

1.3.4.2 Estimation du nombre d'étages du parc existant

Pour la maison individuelle, le nombre d'étages peut être estimé à une valeur légèrement supérieure à deux (soit une configuration dominante en R+1). Un certain nombre de tissus de logements individuels ont été identifiés dans une étude en cours¹⁰. Cet échantillon, quoique réduit, donne un nombre moyen d'étages (pondéré par la surface habitable) de 2,3, valeur sans doute un peu élevée, mais qui sera adoptée pour la suite de l'étude. Le coût élevé des terrains tend à écarter depuis quelques décennies le modèle du pavillon de plain pied sur sous sol ou garage, qui a dominé au cours des années 1970 notamment, pour favoriser les pavillons en R+1, avec combles aménagés.

¹⁰ Cf. M. Maïzia, Recherche en cours « Aménagement Urbain Transports Résidences Energie », PUCA, Appel à projet Energie dans le bâtiment : Prebat, Incidence des formes urbaines et des dynamiques d'agglomération sur les émissions de gaz à effet de serre et l'efficacité énergétique liées aux bâtiments.

Tableau 29. Géométrie des échantillons

Localisation et date de construction	Colombet (1915-1948)	Saint-Nom la Bretèche (1968-1974)	Cergy Ville nouvelle (1968-1974)	Cergy Ville nouvelle (1968-1974)	Colombet (1968-1974)	Cergy Ville nouvelle (1975-1981)
Emprise au sol (m2)	5835	9228	4225	3247	3830	3597
Nombre de niveaux	2,23	2,4	1,59	2,2	1,76	3,05
SHAB (*) totale (m2)	10843	18456	5598	5953	5617	9142

(Source : Elioth)

(*) SHAB : surface habitable basée sur l’emprise au sol*Nombre de niveaux/1,2

Pour les immeubles collectifs, la répartition selon le nombre d’étages doit être prise en compte, afin d’écarter les situations de tours, pour lesquelles le potentiel de solarisation des toitures ne permettrait pas de répondre au seul besoin de la production d’eau chaude sanitaire (sur la base définie de 0,75 m2/personne). La répartition des logements en fonction du nombre d’étages de l’immeuble montre un maximum à 5 niveaux habitables. Cet effet de seuil a été, provoqué, au cours de la période de construction intensive du logement social (1960-1980) par l’obligation d’installation d’ascenseurs au-delà de 5 niveaux habitables (donc à partir de R+5). Pendant cette période, hors prix du terrain, le prix du mètre carré construit décroissait de 100 (base en R+1, soit deux étages habitables), à 83 (en R+4), pour augmenter ensuite en raison du coût des ascenseurs et des renforcements structurels¹¹. Le nombre de logements décroît très vite au-delà de 6 étages habitables en zone H1 et H2, et à partir de 10 étages en zone H1, dans laquelle se situe la région Ile de France.

¹¹ Cf. Encyclopédie pratique de la construction et du bâtiment, Quillet, Paris, 1959. Tome 1, p. 1040.

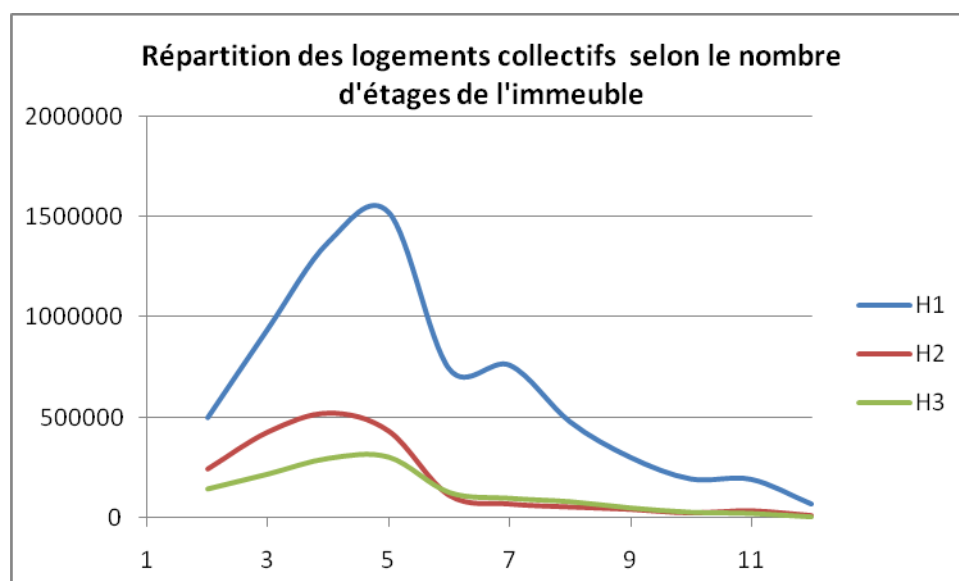


Figure 32. Répartition des logements collectifs selon le nombre d'étages de l'immeuble et la zone climatique.

La connaissance du nombre d'étages, donc de la surface de toiture, interviendra dans l'estimation des ressources solaires des logements.

1.3.4.3 Estimation des surfaces de toiture du parc existant

Les surfaces de toiture sont largement plus étendues pour le total des maisons individuelles, comparé au total des immeubles collectif. En se basant sur la surface hors-œuvre brute, et pour un nombre moyen de 2,3 étages (soit un peu plus qu'en R+1), les maisons individuelles représenteraient plus de 810 millions de mètres carrés, contre environ 200 millions de mètres carrés pour les immeubles collectifs. Ces chiffres représentent la surface de toiture projetée sur le plan horizontal, qui sera utilisée pour apprécier les surfaces disponibles pour la solarisation.

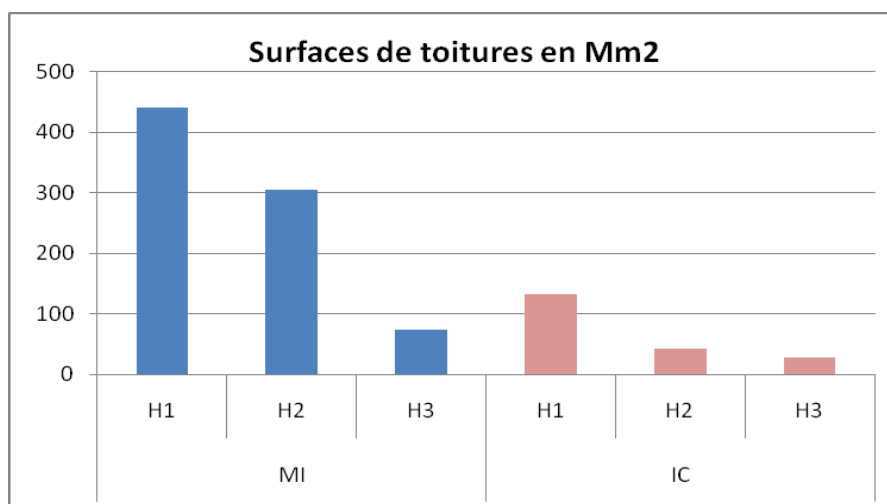


Figure 33. Surfaces de toiture totales des deux typologies de logements pour les trois zones climatiques

Estimation basée sur le calcul de l’emprise au sol

(MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif)

1.3.4.4 Les hypothèses adoptées pour l’estimation des potentiels de solarisation du parc existant

Si l’orientation sud donne la meilleure performance théorique annuelle (en cas d’insolation également répartie entre le matin et l’après midi), une rotation de 30° par rapport à cet azimut ne conduit pas à des pertes notables de productivité annuelle du capteur solaire, l’irradiation annuelle étant réduite de 5 à 10% pour un panneau solaire présentant une pente de 20 à 50° sur l’horizontale.

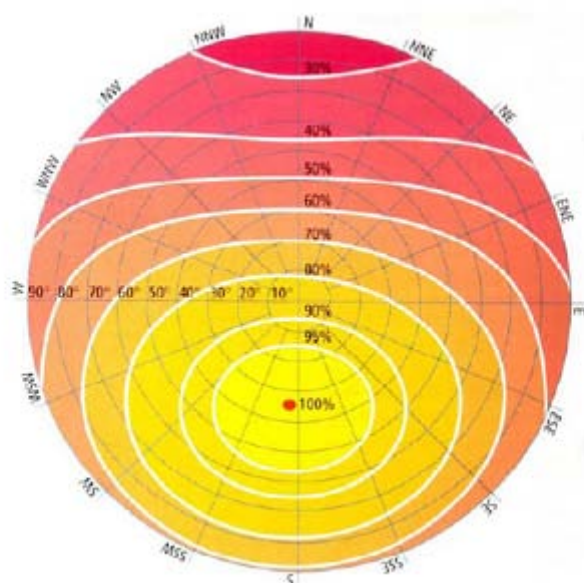


Figure 34. Irradiation annuelle relative en France, fonction de l'orientation et de l'inclinaison

(Source : Cythelia)

On peut donc admettre que les pans de toitures bien orientés constituent un ensemble représentant 1/3 des configurations possibles (azimuts des axes compris dans un double secteur de 60° d'ouverture), ce qui concerne essentiellement le parc de maisons individuelles et les immeubles collectifs construits avant 1949.

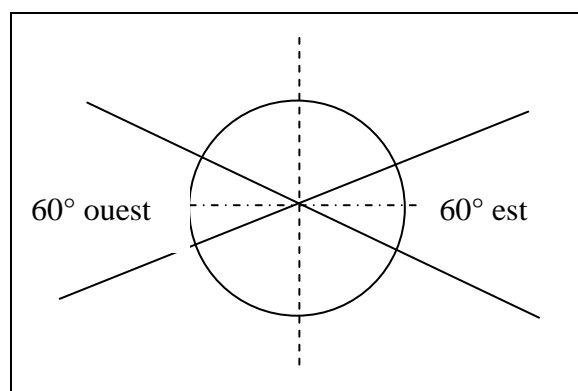


Figure 35. Secteurs est et ouest admissibles pour l'axe des toitures solarisées

Les toitures terrasses dominent néanmoins en immeuble collectif de construction postérieure à 1945. En raison de leur forte dépendance aux morphologies urbaines (orientation des pans de toiture, encombrement des toits terrasses, nombre d'étages, présence possible de masques), les potentiels de solarisation seront soumis à une borne supérieure, que nous estimons comprise

entre 20% et 50% en fonction de la typologie et du contexte urbain¹². Cette borne supérieure exprimée en % de logements est supposée atteinte en fin de période, la vitesse d'équipement du parc existant étant assujettie à la rénovation des systèmes énergétiques.

Tableau 30. Potentiels de solarisation adoptés pour l'équipement des toitures dans le parc existant

Configurations	Rural	Urbain
Maisons individuelles (toits en pente)	30%	20%
Immeubles Collectifs (toits en pente)	30%	20%
Immeubles Collectifs (toits terrasses)	50%	40%

En émettant l'hypothèse que 2/3 des maisons individuelles et 1/3 seulement des immeubles collectifs sont dans une situation favorable (de type « rural »), nous adopterons les coefficients moyens de 26,5% pour les maisons individuelles, de 23,5 % pour les immeubles collectifs avec toitures en pente et de 43,5% pour les immeubles collectifs avec toiture terrasses.

1.3.4.5 Estimation des surfaces de toiture disponibles (immeuble neuf ou existant)

Pour une toiture en pente (de type deux pans symétriques, le plus courant) bien orientée, on peut considérer que la surface disponible sur un versant de toiture S_{sol} , est, en mètres carrés et pour une inclinaison de 30° :

$$S_{sol} = SHOB / (2 * Ne * \cos 30^\circ)$$

Avec :

SHOB : surface hors œuvre brut du logement (m²), qui sera prise à 1,2 fois la surface habitable, $Shab$

Ne : nombre d'étages,

Soit :

$$S_{sol} = 0,7 * Shab / Ne$$

Pour les toitures terrasses, l'orientation est moins contraignante, mais le potentiel est plus faible, en raison de l'écartement nécessaire entre les rangées de panneaux. La surface de toiture disponible est en général réduite par les acrotères et les émergences, celles-ci étant en surface croissante avec le nombre d'étages.

¹² Une approche plus fine pourrait s'appuyer sur la connaissance du nombre d'étages: les gabarits les plus élevés ont plus de chance d'échapper aux ombres portées par les immeubles voisins. Ils ont cependant un taux d'occupation des toitures plus important par les émergences techniques.

La surface disponible horizontale $Shor$ peut ainsi être liée au nombre d'étages et à la surface habitable totale de l'immeuble, affectée d'un coefficient inférieur à 1 (établi forfaitairement à 0,8, en tenant compte de la compensation des parties communes de circulation qui contribuent également à la surface de toiture) :

$$Shor = 0,8 * Shab / Ne$$

Avec :

$Shab$: surface habitable totale de l'immeuble (m²)

Ne : nombre d'étages

Pour tenir compte de la limite d'ombrage, en prenant un angle moyen de 18° (hauteur du soleil en région parisienne au solstice d'hiver à 12 h TSV), et une pente des panneaux de 30°, il convient d'écarter les rangées entre elles de 2,4 fois la longueur des panneaux.

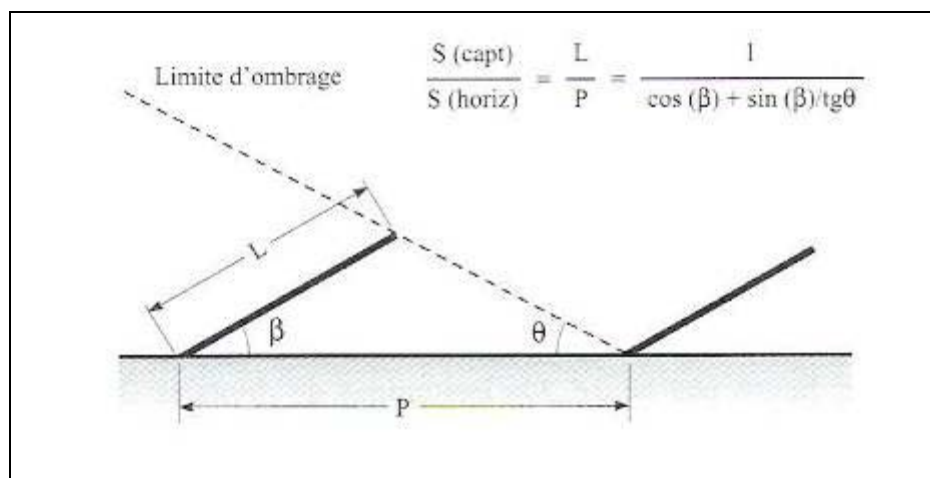


Figure 36. Règle d'écartement des rangées de panneaux solaires

Pour $\beta=30^\circ$ et $\theta=18^\circ$, $S_{capt}/Sh_{horiz} = L/P = 1/(2,4)$.

La même règle est appliquée pour le solaire thermique ou le PV.

Pour R rangées de panneaux de surface unitaire Sr ($S_{sol} = R * Sr$), la surface de toiture nécessaire est :

$$Shor = Sr * [(R-1) * 2,4 + \cos 30^\circ]$$

$$Shor/Sr = (R-1) * 2,4 + \cos 30^\circ$$

En adoptant un nombre de rangée $R=4$, la surface de panneaux totale devient :

$$S_{sol} = 4 * Sr = 0,5 * Shor$$

Ainsi, le potentiel de solarisation des toitures terrasses sera exprimé par :

$$S_{sol} = 0,4 * Shab / Ne$$

Dans le parc neuf, la solution pour maximiser le gisement solaire consiste à adopter des morphologies de toitures en pente d'inclinaison 20 à 30°, orientées sud (azimut sud $\pm 20^\circ$). Nous verrons que pour l'obtention du niveau BEPOS, la typologie de l'immeuble collectif pourrait même recourir à une toiture à pan unique orientée sud.

Dans le parc existant, en supposant que les orientations de toitures sont équitablement réparties, l'effet de la configuration de toiture apparaît peu important. En effet, les toitures terrasses sont pénalisées par leur situation urbaine, par la nécessité d'écarter les rangées de panneaux, mais elles ne peuvent pas, par nature, être affectées par l'orientation du bâtiment. Pour cette raison les hypothèses concernant les typologies de toiture sont peu importantes. Nous conviendrons néanmoins que 100% des maisons individuelles appartiennent à la catégorie des toitures en pente, et seulement 40% des logements en immeubles collectifs.

Sur cette base, les surfaces disponibles (en tenant compte de l'inclinaison des panneaux solaires à 30°) peuvent être estimées : le taux de solarisation est de 15,5 % des surfaces de toitures (considérées comme surfaces au sol) en maisons individuelles et de 14,2 % en immeuble collectif.

Tableau 31. Estimation des surfaces de toiture « solarisables » dans le parc existant.

Typologie	Zone climatique	Surface de toitures (en Mm2)	Surfaces « solarisables » (en Mm2)
Maisons individuelles	H1	439	68
	H2	304	47
	H3	73	11
Immeubles collectifs	H1	132	19
	H2	42	6
	H3	28	4

1.3.5 Affectation des surfaces de toitures (solaire thermique et photovoltaïque)

1.3.5.1 Le potentiel du solaire thermique dans le parc existant

L'affectation des toitures au solaire thermique est considérée comme prioritaire. Le dimensionnement à 0,75 m² /personne en solaire thermique conduit à affecter une surface de capteurs de 0,75*TM par logement, TM étant la taille du ménage à l'année d'application, différenciée selon la typologie.

La surface disponible, telle qu'elle a été évaluée précédemment, est suffisante pour les besoins de la production d'eau chaude sanitaire, dans tous les cas en maison individuelle, et dans la majeure partie des immeubles collectifs, compte tenu du taux d'occupation moyen actuel (en nombre de personnes par logement) et pour les configurations prépondérantes ne dépassant pas les 10 étages.

Il apparaît ainsi que les surfaces de solaire thermique qui pourraient être implantées dans le parc existant en 2005 s'élèveraient à 7,7 millions de m² en maisons individuelles, et 5,7 millions en immeubles collectifs : cela représenterait environ 13,5 millions de m², soit près d'un tiers du dimensionnement total basé sur la population (0,75 m² par personne pour 60 millions d'habitants, soit 45 millions de m²).

Sur cette base, la production potentielle totale du solaire thermique du parc existant peut être estimée à plus de 5 TWh, mais cette valeur doit être confrontée à l'économie de gaz ou d'électricité qu'elle permet dans la production de l'eau chaude sanitaire.

Tableau 32. Production potentielle du solaire thermique généralisé sur la base du parc existant en 2005

Zone climatique	MI (Mm2)	IC (Mm2)	Total (Mm2)	Prod. Unitaire (kWh/m2/an)	Prod. Totale (GWh/an)
H1	4,22	4,02	8,25	365	3010
H2	2,76	0,97	3,73	393	1468
H3	0,68	0,74	1,41	434	614
Total	7,66	5,73	13,39	380 (moyenne)	5091

MI : maisons individuelles, 100% des toitures à deux pans

IC : immeubles collectifs, 60% des toitures en terrasses.

1.3.5.2 Le potentiel du solaire photovoltaïque dans le parc existant

Pour toute construction avec toitures en pente (toujours supposée inclinée à 30°), le potentiel photovoltaïque sera considéré comme complémentaire au besoin estimé pour l'ECS :

$$Spv = Ssol - Secs = 0,7 * Shab / Ne - TM * 0,75$$

Pour l'immeuble collectif avec toiture terrasse, le potentiel photovoltaïque adoptera l'expression :

$$Spv = Ssol - Secs = 0,4 * Shab / Ne - 0,75 * TM$$

TM étant alors la somme des tailles de ménages sur l'ensemble de l'immeuble.

Compte tenu de l'évaluation totale du potentiel selon la typologie individuel/collectif, et des exigences du solaire thermique, estimées sur la base de 0,75 m2 par personne, la surface de toiture résiduelle disponible pour le photovoltaïque apparaît importante, soit près de 120 millions de mètres carrés en maison individuelle et 23 millions de mètres carrés en immeuble collectif. Ces valeurs sont certainement des bornes supérieures, notamment pour les toitures en pente, dans la mesure où leurs géométries apparaissent bien plus complexes que la configuration à deux pans, ce qui diminue le potentiel total (exemples de pans coupés, de croupes, de présence de lucarnes et fenêtres de toit, etc.).

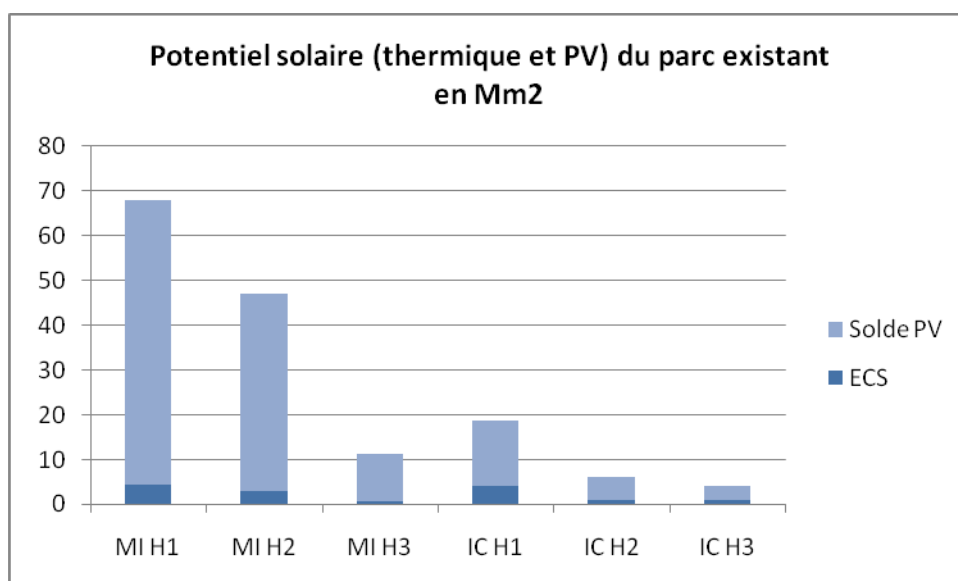


Figure 37. Décomposition du potentiel solaire des toitures existantes entre la production d'ECS (eau chaude sanitaire) et le photovoltaïque

(MI : maison individuelle ; IC : immeuble collectif)

La productivité du solaire photovoltaïque évolue avec l'année de l'installation, en raison des progrès de rendement attendus dans la filière (ce paramètre a été cependant écarté pour le solaire thermique, en se fixant sur les technologies disponibles en 2005-2010). Pour une productivité moyenne sur la période 2005-2050, différenciée selon la zone climatique, la production potentielle totale du parc existant peut être estimée à plus de 19 TWh en énergie finale (51 TWh en énergie primaire).

Tableau 33. Production potentielle du solaire photovoltaïque sur la base du parc existant en 2005

Zone climatique	MI (Mm2)	IC (Mm2)	Total (Mm2)	Prod. Unitaire (kWh/m2/an)	Prod. Totale (GWh/an)	Prod. Totale (TWh ep/an)
H1	63,71	14,69	78,39	129,5	10152	26,19
H2	44,29	5,01	49,31	143	7051	18,19
H3	10,62	3,17	13,79	174	2399	6,19
Total	118,62	22,87	141,48	139	19601	51

MI : maisons individuelles, 100% des toitures à deux pans

IC : immeubles collectifs, 60% des toitures en terrasses.

1.3.5.3 Le potentiel de solaire thermique dans le neuf

Il est possible d'estimer le potentiel de solaire thermique dans la construction neuve, en équipant tous les logements construits dans l'optique BBC à partir de 2012 sur la base de 0,75 mètres carrés par personne. Il est cependant difficile d'estimer la taille des ménages pour les

différentes configurations de logements, individuel ou collectif. On peut cependant s'appuyer sur des chiffres globaux, rapportés à la zone climatique, et fondés sur les hypothèses de population habitant le neuf, résultante de la population totale moins la population du stock (en considérant que la taille du ménage est plus grande dans le logement neuf). En 2030, la surface installée dans le neuf depuis 2012 atteindrait près de 8 millions de mètres carrés, pour une production de plus de 3 TWh (énergie finale).

Tableau 34. Production du solaire thermique dans le parc construit après 2012

	Zone climatique	2015	2020	2025	2030
Surface solaire thermique (Mm2)	H1	1,12	2,29	3,30	4,19
	H2	0,64	1,36	2,03	2,66
	H3	0,24	0,53	0,82	1,09
(Mm2)	TOTAL	2,00	4,18	6,15	7,94
Production unitaire moyenne (kWh/m2/an)	Moyenne	382	383	383	384
Production totale (GWh/an)	H1	408	834	1205	1529
	H2	251	535	799	1046
	H3	105	231	354	474
(GWh/an)	TOTAL	764	1600	2359	3049

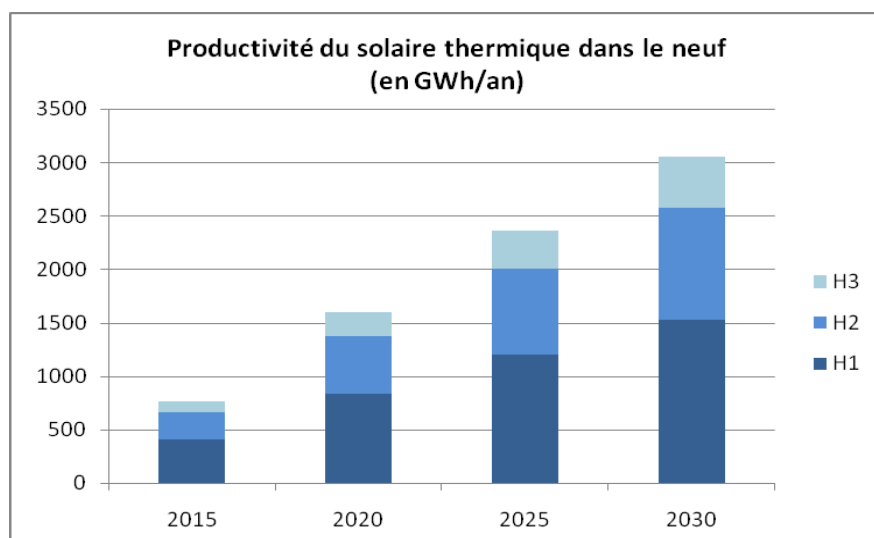


Figure 38. Production du solaire thermique (eau chaude sanitaire) cumulée dans la production neuve, après 2012.

1.3.5.4 Le potentiel photovoltaïque dans le neuf.

Dès 2012, compte tenu des exigences BBC, l'ECS solaire est généralisée à 100% du parc neuf : les toitures terrasses sont supposées conçues en concordance avec les besoins, les immeubles tours devant développer des surfaces sud en brise soleil pour compenser les limites du ratio : surface disponibles en toiture / habitant, qui peut être inférieur à 0,75 m²/personne. Les toitures en pente sont supposées disposer dans tous les cas d'un pan bien orienté (sud +/- 30°).

Le BEPOS étant un BBC compensé en énergie primaire, les surfaces de PV (photovoltaïque) nécessaires peuvent être déterminées à partir des consommations forfaitaires, fixées par région climatique, en supposant que le niveau BBC n'évoluera pas d'ici 2050. Mais les rendements PV évoluant avec le temps, les surfaces nécessaires peuvent décroître entre 2020 et 2050.

Pour chaque zone climatique i et pour chaque année t entre 2020 et 2050, on dimensionne la surface PV nécessaire, Spv^+ , sur la base des consommations de niveau BBC ($Cbbc$) par la relation :

$$Spv^+(t,i) * Ppv(t,i) * 2,58 = Shab * 1,15 * Cbbc(i)$$

Avec :

$Ppv(t,i)$ productivité PV de l'année t et de la zone i , en énergie finale (kWh/m²/an)

$Shab$: surface habitable

2,58 : coefficient de conversion (finale en primaire)

1,15 : coefficient de conversion de la surface habitable en SHON pour les maisons individuelles (1,10 pour les immeubles collectifs)

$Cbbc(i)$: niveau réglementaire de consommation unitaire de la zone i , en énergie primaire (en moyenne, 50 kWhEP/m²/an)

On peut directement dresser les ratios de mètre carré de toit PV par mètre carré de SHON ($Spv^+/SHON$), qui dépendent de la zone climatique, et qui décroissent avec le temps :

$$Spv^+/SHON = Cbbc / (Ppv * 2,58)$$

Tableau 35. Dimensionnement des surfaces PV en compensation BBC (en énergie primaire)

	Cbbc (kWhEP/m ² SHON)	2020 (m ² PV/m ² SHON)	2030 (m ² PV/m ² SHON)	2040 (m ² PV/m ² SHON)	2050 (m ² PV/m ² SHON)
Zone H1	65	0,219	0,202	0,187	0,175
Zone H2	50	0,152	0,141	0,131	0,122
Zone H3	40	0,100	0,092	0,086	0,080

(On suppose que les niveaux BBC sont atteints grâce à la contribution du solaire thermique, qui ne vient donc pas en déduction des consommations).

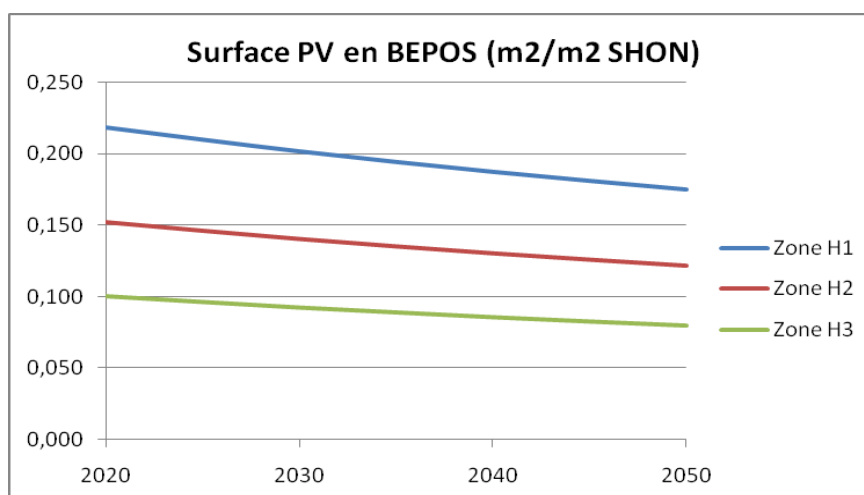


Figure 39. Ratios de surfaces PV par m2 SHON, pour le niveau BEPOS

1.3.5.5 Configurations d'immeubles collectifs en BEPOS selon la zone climatique

La configuration en toiture terrasse n'est pas propice à la compensation PV en panneaux inclinés, sauf à les répartir sur la façade sud. Les solutions de membranes photovoltaïques sont en effet d'un rendement encore insuffisant pour répondre à la compensation BEPOS, hors bâtiment très performant, de niveau passif, et d'un nombre d'étages réduit. Il conviendrait de reconsidérer les besoins de chauffage des immeubles collectifs, en leur appliquant les mêmes prestations d'enveloppe qu'en maisons individuelles (ce que traduit le coefficient Ubat), ce qui améliorerait les bilans en raison des fortes contigüités entre logements.

En maintenant le niveau BBC à un niveau identique entre la maison individuelle et l'immeuble collectif, il est possible de déterminer le nombre maximum d'étages pour obtenir une compensation par énergie photovoltaïque, sans recours au bois. Le nombre d'étages en immeuble collectif peut en effet être déduit des deux équations exposées précédemment :

$$Spv = Ssol - Secs = 0,7 * Shab / Ne - \sum TM * 0,75$$

$$Spv^+(t,i) * Ppv(t,i) * 2,58 = Shab * 1,10 * Cbbc(i)$$

Soit, pour une surface habitable moyenne par personne de 33,2 mètres carrés en 2020 dans le logement collectif :

$$Ne = 0,7 / (0,43 * Cbbc / Ppv + 0,023)$$

Tableau 36. Configuration des immeubles collectifs en BEPOS en 2020

Zone climatique	Cbbc (kWhEP/m2SHON/an)	Ppv (kWhEF/m2/an)	Ne Nombre d'étages
Zone H1	65	115,2	2,64
Zone H2	50	127,2	3,65
Zone H3	40	154,8	5,22

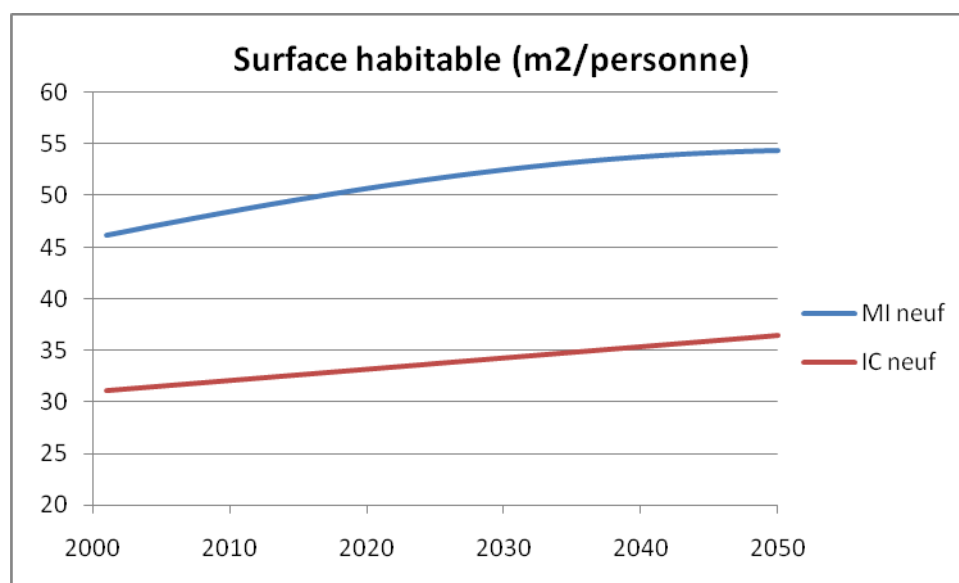
Ainsi, en zone H1, les logements collectifs en BEPOS seraient limités à 2,6 étages (soit en R+2), à condition de développer l'ensemble de la toiture en un seul plan incliné de pente d'environ 30° et orientée au sud. Des gabarits plus importants seraient admissibles en zones H2 et H3, tout en demeurant dans la configuration de petits collectifs de type maisons de ville. A l'inverse, pour un gabarit en R+3 en zone H1, le niveau BBC devrait être réduit à 41,2 kWhEP/m²/an, ce qui exige une isolation très renforcée, sans doute facilitée par la forte contiguïté entre logements, ou une contribution du bois énergie, car celle-ci n'intervient pas dans le calcul de la compensation photovoltaïque.

1.3.5.6 Effet « taille du parc » sur les consommations énergétiques à 2050 dans le neuf

Les projections établies pour la construction neuve à 2050 reposent sur plusieurs hypothèses, d'évolution lente des surfaces habitables dans le logement collectif, plus rapide dans la maison individuelle. Les coûts croissants de l'accession à la propriété (dans le neuf et dans l'ancien) devraient être pris en compte pour évaluer l'effet de cette force de rappel sur les surfaces des logements neufs, qui devront également faire face à des exigences croissantes de performance énergétique (bâtiment basse consommation dès 2010, à énergie positive dès 2020), et environnementale (choix des matériaux en fonction des impacts sur la santé, dispositifs de récupération d'eau pluviale, double circuit d'alimentation en eau, etc.).

La surface habitable par personne en logement collectif peut être maintenue dans l'intervalle de 30 à 36 mètres carrés, ce qui semble néanmoins supérieur aux différents programmes immobiliers, du T1 au T5, pour lesquels la surface apparaît plus proche de 25 m² par personne. En maison individuelle, les programmes de construction privilégiant une surface de 120 mètres carrés en moyenne, qui permet, si elle est stabilisée, d'obtenir une surface habitable approchant les 55 m² par personne, sous l'effet de la décroissance de la taille moyenne du ménage dans ce parc (de 2,6 personnes en 2002 à 2,2 personnes en 2050).

Figure 40. Evolution prospective de la surface habitable par personne, selon le type de logement neuf



Selon la typologie qui est favorisée, la surface cumulée de logements neufs en 2050 peut évoluer de 883 millions de mètres carrés pour un taux constant de maisons individuelles de 10%, à 1215 millions de m2 si le taux de maisons individuelles est maintenu à 80%.

Figure 41. Evolution des surfaces cumulées de logements neufs, selon trois hypothèses de part de la maison individuelle

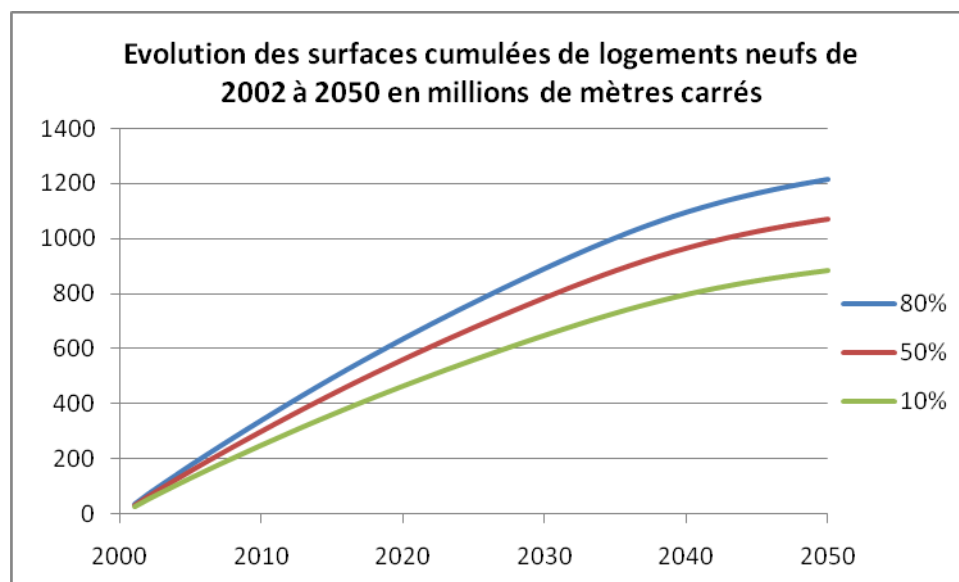


Tableau 37. Etude de sensibilité du modèle aux hypothèses de répartition MI/IC pour la construction neuve, valeurs cumulées en 2050

Part de MI dans le parc neuf (en %)	Cumul neuf (2002-2050) (Mm2)	Parc final 2050 (Mm2)	Part du neuf (post 2002) en 2050 (en %)
80%	1215	3289	36,95
50%	1072	3147	34,06
10%	883	2957	29,86

En considérant que tous les logements construits à partir de 2012 seront au niveau BBC (bâtiments basse consommation, soit à 50 kWh/m² SHON en moyenne pour l'ensemble des zones climatiques), compensé à partir de 2020, il est possible d'estimer le total des consommations énergétiques pour le parc neuf construit dans l'intervalle 2012-2050. Ces consommations énergétiques concernent l'ensemble des postes pris en compte par la réglementation thermique, c'est-à-dire le chauffage, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et leurs auxiliaires, l'éclairage et la ventilation. Un écart de 14 Twhp sépare les deux extrêmes (part de 10% ou de 80% pour la maison individuelle dans le neuf de 2012 à 2050).

Tableau 38. Consommations énergétiques en 2050, pour les logements construits dans l'intervalle 2012-2050

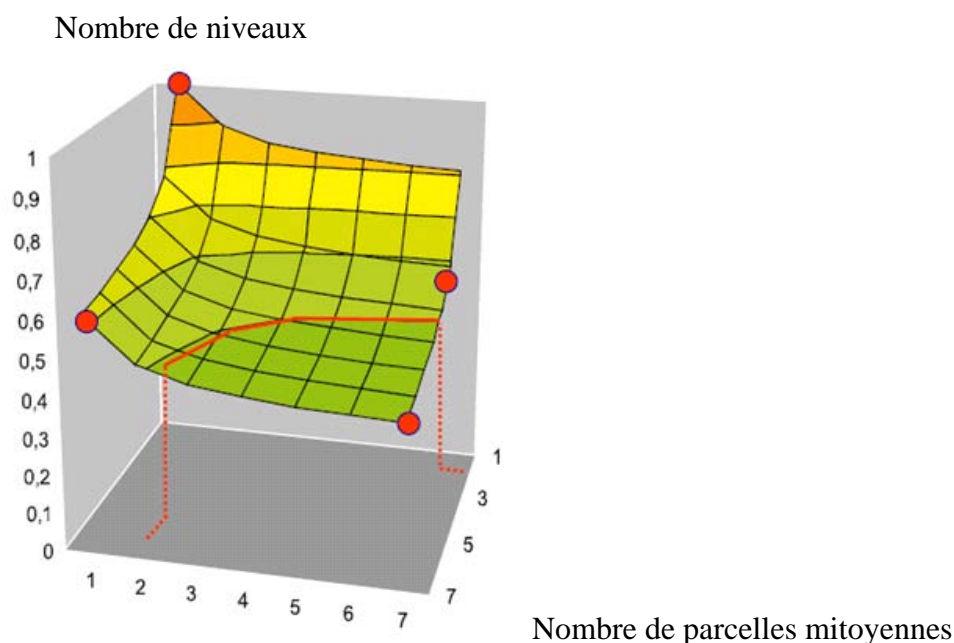
Part de MI dans le parc neuf (en %)	Cumul neuf (°) (MI en Mm2)	Cumul neuf (*) (IC en Mm2)	Total énergie primaire (Twhép/an)
80%	744,8	66,6	46,5
50%	465,5	249,9	40,5
10%	93,1	494,3	32,5

(°) En maison individuelle, la consommation est estimée à 57,5 kWhép/an par mètre carré de surface habitable, en raison du coefficient de SHON (1 m² habitable pour 1,15 m² SHON)

(*) En logement collectif, la consommation est estimée à 55 kWhép/an par mètre carré de surface habitable, en raison du coefficient de SHON (1 m² habitable pour 1,10 m² SHON).

1.3.5.7 Paramètre de contiguïté

Le taux de contiguïté des logements croît avec le nombre de parcelles mitoyennes et le nombre d'étages : à surface habitable identique, la surface d'enveloppe extérieure peut être réduite de plus de 60%, pour un ensemble de maisons de ville de 5 étages, en bande de plus de 7 unités (Figure 47).

**Figure 42. Facteur de réduction du rapport S(enveloppe)/S(habitable)**

Cependant, le taux de contiguïté n'est pas pris en compte dans la recherche de la performance énergétique : la cible moyenne BBC de 50 kWhép/m²/an est identique pour toutes les typologies du neuf. Néanmoins, à prestations d'enveloppe égales (niveau d'isolation des

parois opaques et des parois vitrées), le niveau BBC serait amélioré grâce aux typologies de petits immeubles urbains.

Par ailleurs, ce paramètre intervient dans le développement des réseaux de chaleur car les possibilités augmentent en raison de la densité de chaleur à fournir par mètre linéaire de réseau. Dans le cas de logements très performants, neufs ou réhabilités thermiquement, il conviendra de tenir compte de l'ensemble des besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire, ECS) afin de mieux répartir les besoins sur l'année. Par unité de surface, les besoins annuels de chauffage et d'ECS peuvent être voisins (de 25 à 30 kWh/m²), même si l'intermittence de la consommation d'eau chaude est une donnée défavorable à la fourniture des besoins par réseau.

1.4 Tâche B3 : Scénarios énergétiques et artificialisation du territoire

1.4.1 Les hypothèses de scénarios énergétiques

1.4.1.1 L'aménagement urbain durable et les segments privilégiés de la construction neuve

Les textes du Grenelle qui concernent l'urbanisme se situent dans l'objectif de lutte contre l'étalement urbain, de développer les énergies renouvelables dans les zones d'aménagement, par la création ou le raccordement à un réseau de chaleur ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.

Pour cette raison, nous privilégierons les formes urbaines continues en ce qu'elles répondent aux critères de faisabilité des réseaux de chaleur. Il importe également de satisfaire aux conditions de réversibilité entre énergies (gaz, bois, électricité). Il convient donc de faciliter la conversion au bois énergie, soit sous forme de réseau, soit dans les équipements collectifs de chauffage, le bois étant exclus des équipements individuels en immeubles.

En conséquence, dans nos scénarios énergétiques, la construction neuve écarte les segments suivants :

- Maisons individuelles (hors rural) et immeubles collectifs en tissus discontinus ;
- Immeubles collectifs équipés en CCI (chauffage central individuel).

Concrètement, cela signifie que, dans les tissus urbains, toutes les constructions sont considérées comme étant le fruit d'opérations planifiées et que la mise en œuvre de moyens de chauffage mutualisés y est possible. Les hypothèses posées concourent notamment à l'élimination des maisons individuelles en diffus hors rural pour les constructions neuves. Cependant, ces options pourront être reprises afin de comparer l'impact territorial d'une réelle maîtrise de l'étalement urbain.

Cependant, afin de ne pas multiplier les scénarios, les comparaisons des différentes solutions énergétiques seront basées sur des hypothèses uniques de renouvellement de France de répartition entre les maisons individuelles et les logements en immeuble collectif pour la construction neuve. Celle-ci sera basée sur la moyenne des années 200-2004, soit 59,4% de maisons individuelles pour 40,6% logements en immeuble collectif, en moyenne métropole

Tableau 39. Part de maisons individuelles en construction neuve selon la Région

Alsace	0,444
Aquitaine	0,624
Auvergne	0,710
Basse Normandie	0,786
Bourgogne	0,712
Bretagne	0,692
Centre	0,725
Champagne-Ardenne	0,712
Corse	0,583
Franche-Comté	0,673
Haute-Normandie	0,677
Ile-de-France	0,294
Languedoc-Roussillon	0,629
Limousin	0,712
Lorraine	0,590
Midi-Pyrénées	0,609
Nord-Pas-de-calais	0,676
PACA	0,734
Pays de la Loire	0,716
Picardie	0,800
Poitou-Charentes	0,509
Rhône-Alpes	0,501
Total	0,594

D'après SITADEL, moyennes 2000-2004.

1.4.1.2 Les quatre scénarios énergétiques

Les scénarios comparatifs favorisent successivement les trois énergies prédominantes :

- Le bois ;
- Le gaz ;
- L'électricité.

Le principe central consiste à favoriser le bois-énergie :

- soit en énergie 1 (les compléments étant alors apportés selon deux scénarios, gaz puis électricité ou électricité puis gaz) ;
- soit en énergie 2.

Les énergies sont successivement généralisées dans leur champ d'application. Il y a toujours une solution électrique qui permet de combler les carences (hors champs d'application) des deux autres énergies. Les combinaisons donnent quatre scénarios :

- BOIS/GAZ/ELEC ;
- BOIS/ELEC (le GAZ est alors absent) ;
- GAZ/BOIS/ELEC ;
- ELEC/BOIS/GAZ (le GAZ est alors absent, le BOIS est présent sous forme d'appareils indépendants de chauffage avec appoint électrique et en réseau de chaleur).

Le champ d'application du bois obéit aux principes suivants :

- Toutes les communes sont supposées disposer de ressources suffisantes (en raison des faibles volumes nécessités par le neuf), en déchets végétaux ou d'industrie dans un périmètre donné.
- En zone rurale, une installation bois par immeuble (maison individuelle ou immeuble collectif)
- En zone urbaine, les opérations groupées permettent la création de mini réseaux de chaleur (bois, appoint gaz pour le chauffage et l'ECS)
- En raison des émissions dues aux chauffages individuels au bois en zone urbaine, le bois est écarté en MI dans l'immédiat au profit des chaudières collectives et des réseaux de chaleur (technologies moins polluantes)

Le champ d'application du gaz est défini selon les principes suivants :

- Les communes reliées au réseau de gaz étant identifiées (25% des communes en 2005 qui concernent 75% de la population), il n'y a pas de connexion nouvelle d'ici à 2050 ;
- Dans les communes desservies, les zones urbanisées au cours de l'intervalle 2005-2050 sont supposées systématiquement connectées (donc tous les logements neufs).
- En présence du réseau, il existe toujours une solution gaz

Le champ d'application de l'électricité répond aux les principes suivants :

- Il existe toujours une solution « électrique » (sous forme de pompe à chaleur notamment), pour tout niveau de performance et pour toute typologie (MI, IC, CCI ou CCC).
- Donc, dans les scénarios, l'électricité remplit tout le champ d'application (soit en énergie 1, soit en énergie 2, après le bois).

1.4.1.3 Les effectifs de logements neufs selon les différents scénarios

Dans le scénario BGE (BOIS/GAZ/ELEC), compte tenu des hypothèses adoptées, tous les immeubles collectifs peuvent être équipés au bois (en chauffage central collectif) ; en comptant les maisons individuelles, le bois équipe les 2/3 des logements neufs. Les règles d'implantation des maisons individuelles (hors rural où la chaudière bois est acceptée), de préférence en densification de bourgs, favorisent l'extension des réseaux de gaz existants : il y a donc peu de logements individuels qui recourent à la PAC électrique (environ 3% en moyenne sur l'ensemble du parc neuf).

Dans le scénario BEG (BOIS/ELEC/GAZ), les effectifs « bois » sont identiques aux précédents, le solde soit 1/3 étant pris en totalité par les solutions électriques : le gaz est donc totalement absent.

Dans le scénario GBE (GAZ/BOIS/ELEC), le gaz étant prioritaire, il équipe les 3/4 des logements, et près de 90% des immeubles collectifs, le solde affecté aux solutions électriques étant identique au premier scénario BGE, soit 3%.

Dans le scénario EBG (ELEC/BOIS/GAZ), la totalité des effectifs est en électrique (PAC).

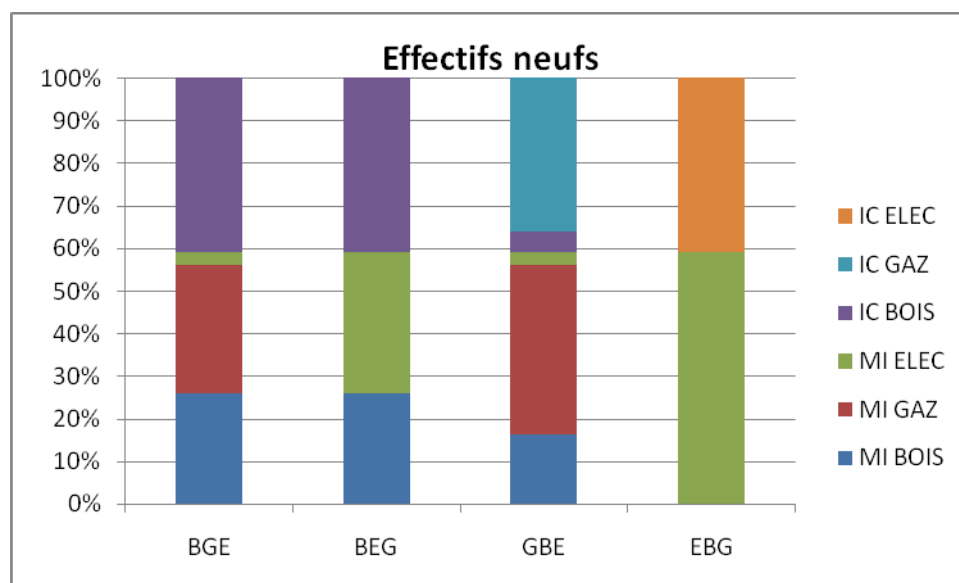


Figure 43. Répartitions des effectifs de logements neufs (2010-2050) selon les quatre scénarios

1.4.1.4 Les effectifs de logements neufs et réhabilités selon les différents scénarios

Les règles d'affectation des énergies, établies selon la localisation (rural/urbaine), la présence ou non de réseau de chaleur et de la desserte en gaz, aboutissent à des répartitions très contrastées selon les quatre scénarios en 2050 :

- BOIS/GAZ/ELEC : le bois est présent dans 43% des effectifs, le gaz est présent à 26% en chauffage central individuel (en maison ou immeuble), l'électricité équipe les 31% restants ;
- BOIS/ELEC : le bois occupe la même place que dans le scénario précédent, le solde étant à totalité équipé en électrique (le gaz est en effet totalement absent) ;
- GAZ/BOIS/ELEC : la position du bois est réduite à un peu plus de 25%, le gaz occupe environ 43%, l'électricité équipe les mêmes segments que dans le scénario BOIS/GAZ/ELEC ;
- ELEC/BOIS/GAZ : le gaz étant totalement absent, le bois est présent à 18% sous forme d'appareils indépendants de chauffage avec appoint électrique et en réseau de chaleur, les PAC électriques équipent plus de 53% des logements en chauffage central indépendant, 14% des logements en chauffage central collectif, l'effet joule subsistant dans moins de 15% des logements.

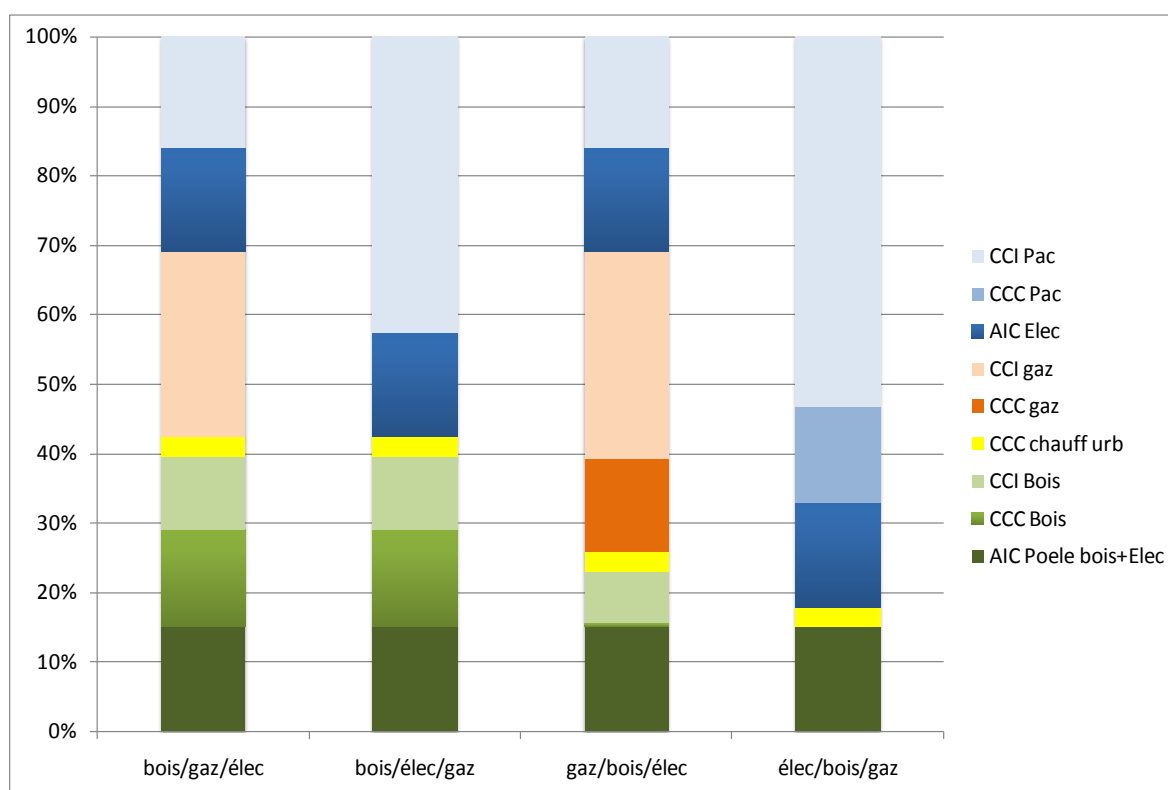


Figure 44. Répartition des effectifs de résidences principales selon les énergies de chauffage, pour les quatre scénarios

1.4.2 Les résultats des scénarios énergétiques

1.4.2.1 Les consommations d'énergie de chauffage et les émissions dans la construction neuve

En raison des fortes disparités dans les rendements de génération des systèmes, qui ne sont pas compensés par des actions renforcées sur le bâti dans nos hypothèses d'obtention du niveau BBC¹³, le scénario dans lequel le bois puis le gaz sont fortement développés (BGE) se s'écarte nettement du scénario ELEC/BOIS/GAZ (EBG), qui en réalité est construit entièrement sur le développement de la pompe à chaleur. Cette technologie, dont les rendements de génération (COP) varient de 3,3 en 2010 à 4,6 en 2050 pour la maison individuelle, et de 2,7 en 2010 à 4,4 en 2050 pour l'immeuble collectif, permet ainsi de quasiment stabiliser les consommations dans le neuf à moins de 10 TWh (ef) en 2050. Des gains complémentaires sont à prévoir, dans la mesure où les systèmes énergétiques n'ont pas été renouvelés dans l'intervalle 2010-2050. En intégrant un renouvellement des systèmes complet tous les 20 ans, le gain sur les systèmes remplacés pourrait suffire à équilibrer les entrées de construction neuve après 2050, au moins pour les systèmes de PAC, électrique puis dans une moindre mesure, des PAC gaz.

¹³ BBC : bâtiment basse consommation.

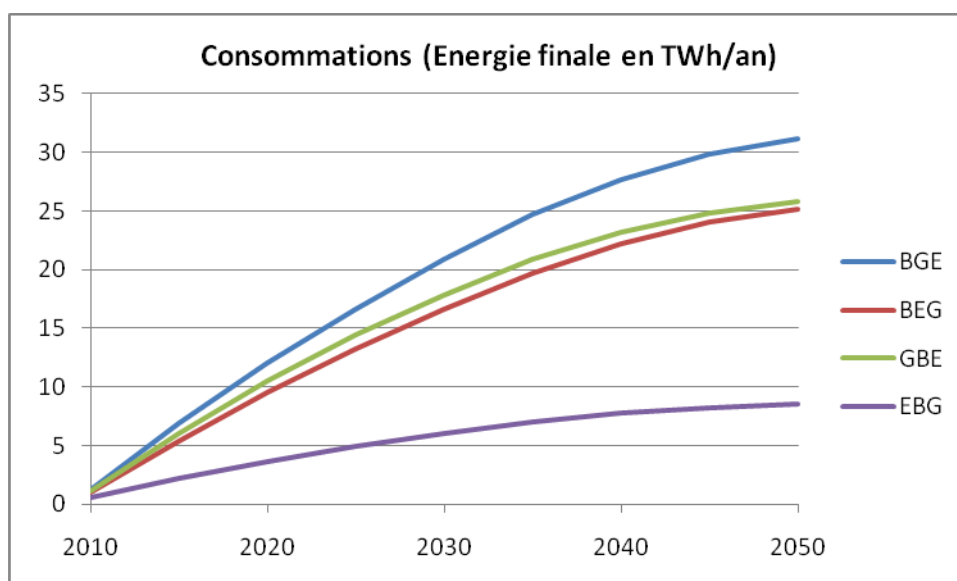


Figure 45. Consommations d'énergie finale dans la construction neuve (2010-2050) pour les quatre scénarios.

En énergie primaire, les écarts sont moins sensibles, mais ce seul critère conduirait à privilégier les solutions électriques, alors que le meilleur résultat est obtenu, en émissions de CO₂, par le scénario associant Bois et Electricité (BEG) : en 2050, les émissions dues au chauffage des constructions neuves s'élèveraient à 3,5 MtCO₂ pour le scénario GBE privilégiant le gaz, contre 0,56 MtCO₂ pour le scénario BEG dans lequel le bois est assisté par les PAC électriques. Dans ce cas, 6 millions de logements seraient chauffés au bois en 2050, le solde de 3 millions étant équipés de PAC électriques.

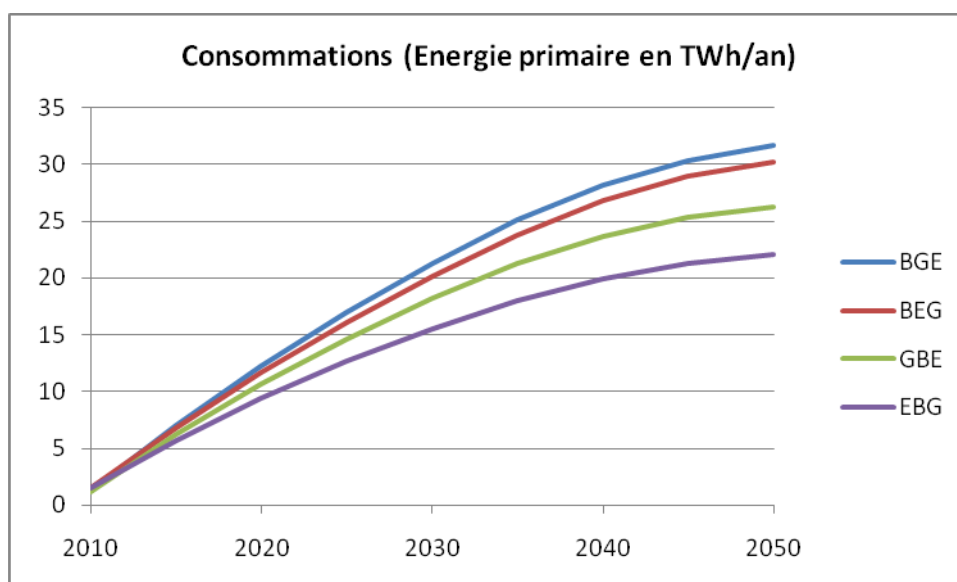


Figure 46. Consommations d'énergie primaire dans la construction neuve (2010-2050) pour les quatre scénarios.

Conversion : 1 pour le gaz et le bois ; 2,58 pour l'électricité

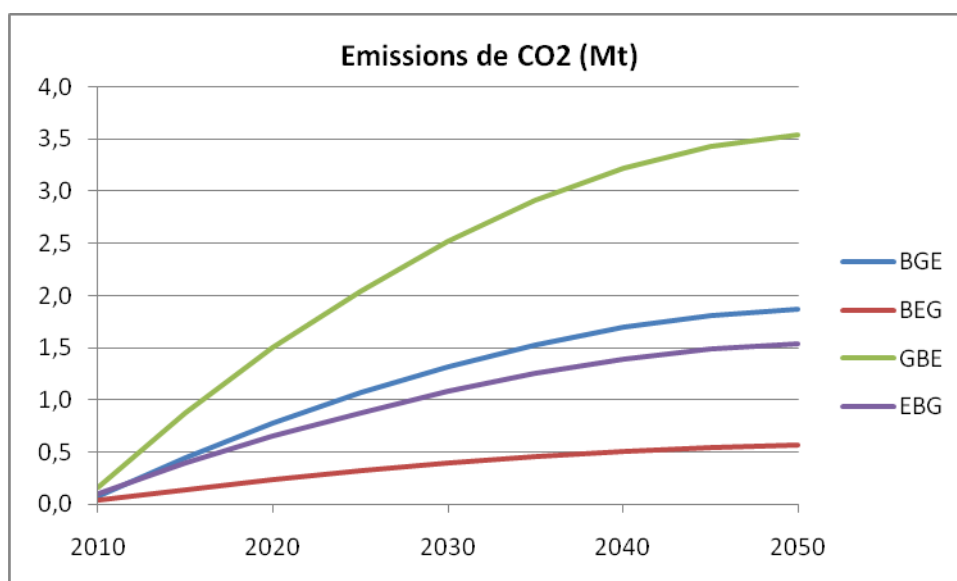


Figure 47. Emissions de CO2 dans la construction neuve (2010-2050) pour les quatre scénarios.

Conversion : 205 gCO₂/kWh pour le gaz ; 0 gCO₂/kWh pour le bois ; 180 gCO₂/kWh pour l'électricité.

1.4.2.2 Un scénario de réhabilitation : le scénario BOIS/GAZ/ELEC

En 2050, compte tenu des règles d'affectation des énergies de chauffage et du rythme de réhabilitation dans le parc de construction antérieure à 2005, 9,4 millions de logements sont chauffés au bois, pour 8,6 millions chauffés à l'électricité (PAC majoritairement) et 6,9 au gaz. Les rendements des pompes à chaleur permettent de réduire la part de l'électricité dans les consommations d'énergie finale à 15%, contre 35% pour le gaz et 50% pour le bois. En énergie primaire, les différences entre énergies s'amenuisent dans ce scénario. Enfin, le gaz devient prépondérant dans les émissions de CO₂, à 14,1 MtCO₂ sur un total de 19,4 MtCO₂ en 2050, soit une réduction de 71% par rapport au niveau de 2005 (67,3 MtCO₂). Ce scénario n'apporte donc pas de réduction suffisante des émissions pour compenser les émissions supplémentaires du neuf construits dans l'intervalle (environ 2 MtCO₂), pour le seul poste du chauffage.

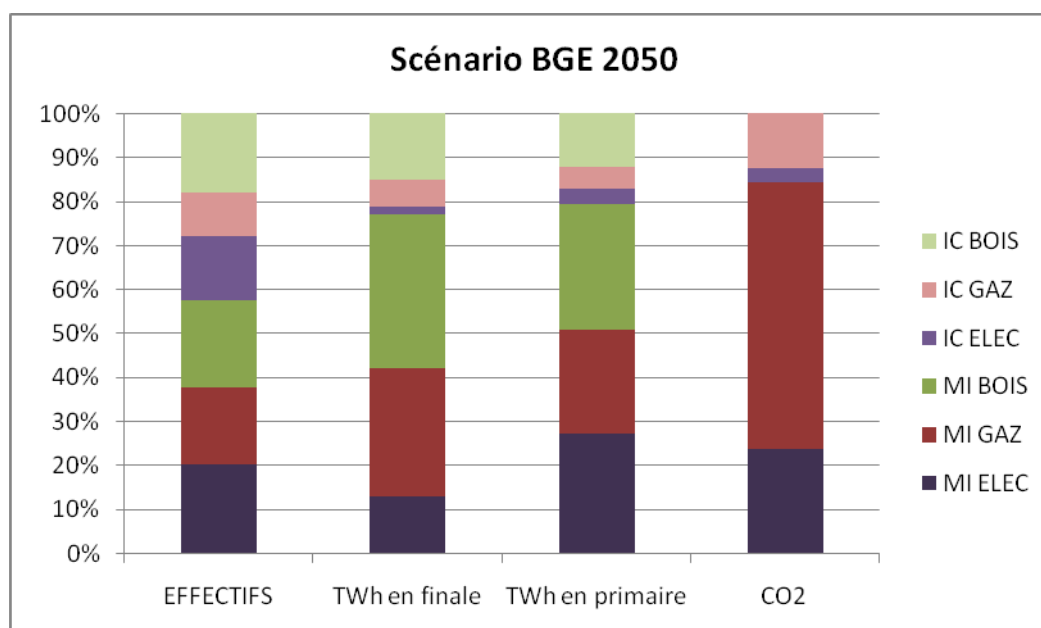


Figure 48. Répartitions des effectifs de logements, des consommations énergétiques (en énergie finale et en énergie primaire) et des émissions de CO2 en 2050 pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC

Le rythme de réhabilitation doit également être ajusté en fonction des objectifs à 2020. Il est convenu dans les scénarios que les gestes de réhabilitation du parc existant sont tous appliqués dans l'intervalle 2010-2050, donc au rythme de 1/40 du parc chaque année. Les équipements de chauffage sont également réhabilités entièrement tous les 20 ans, quelque soit le système de chauffage. La période de 40 ans permet donc deux renouvellements complets des systèmes énergétiques. Dans ces conditions, un maximum de consommation apparaît en 2030, alors que 50% du parc est réhabilité, et que les systèmes énergétiques n'ont été rénovés qu'une seule fois. Il conviendrait, pour réduire ce pic, de donner priorité aux logements très énergétivores, et pour lesquels les gains de réhabilitation seraient les plus forts, soient les logements construits massivement dans l'intervalle 1940-1975.

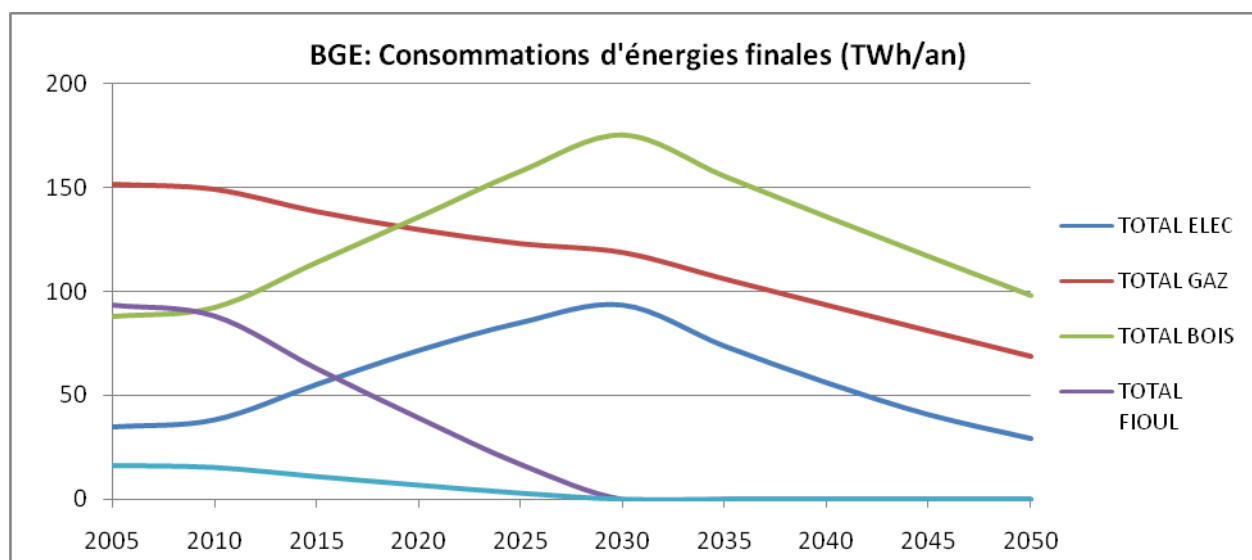


Figure 49. Evolution des consommations d'énergie de chauffage pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC

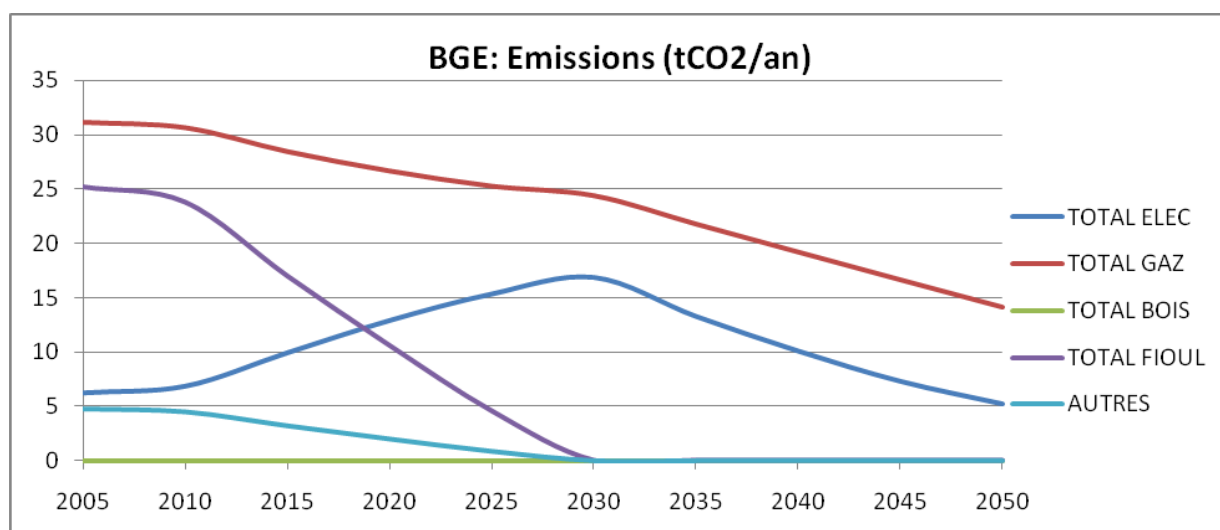


Figure 50. Evolution des émissions de CO2 liées au chauffage pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC

1.4.2.3 Une estimation des consommations totales (chauffage et production d'ECS)

Pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC qui a été simulé, il est possible d'estimer les consommations totales d'énergie destinée au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire (ECS) en 2050 :

- Les besoins en ECS ont auparavant été déterminés par zone climatique et selon la typologie MI/IC en kWh/m²/an, et projetés à 2050 ;
- Pour les rendements de génération d'ECS, nous ferons l'hypothèse d'un choix de système identique pour le chauffage et la production d'ECS, mais avec des rendements légèrement inférieurs, tels qu'ils ont été identifiés plus haut ;

- Les consommations de chauffage sont également connus pour les logements construits dans l'intervalle 2010-2050, ainsi que pour le parc réhabilité de construction antérieure à 2005¹⁴.

Les consommations totales d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire s'élèveraient à plus de 45 TWh en 2050, dans le scénario qui privilégie le bois puis le gaz, en raison des rendements inférieurs de génération de ces deux énergies, comparées à ceux des pompes à chaleur électrique. Pour le neuf 2010-2015, le solaire thermique a été associé pour tous les systèmes hors bois, pour éviter la compétition entre deux énergies renouvelables.

En comparaison, l'application systématique du solaire thermique selon les règles énoncées plus haut (7,66 millions de mètres carrés en maisons individuelles et 5,73 millions de mètres carrés en immeuble collectif affectés selon les zones climatiques) permettrait de réduire la consommation totale de plus de 5 TWh, et les émissions de CO₂ de près de 0,5 millions de tonnes en 2050. Ces valeurs seraient plus significatives dans la situation des consommations d'énergie actuelles, compte tenu du poids des énergies carbonnées, beaucoup plus important.

Tableau 40. Consommations d'énergie et émissions de CO₂ pour la production d'eau chaude sanitaire en 2050.

Energie (ECS)	Sans solaire en réhabilitation		Avec solaire en réhabilitation	
	Consommations (TWh ef)	Emissions CO ₂ (MtCO ₂)	Consommations (TWh ef)	Emissions CO ₂ (MtCO ₂)
BOIS	28,25	0	25,60	0
ELEC	5,14	0,92	4,32	0,778
GAZ	11,98	2,46	10,36	2,123
TOTAL	45,37	3,38	40,28	2,901

Conversion : 205 gCO₂/kWh pour le gaz ; 0 gCO₂/kWh pour le bois ; 180 gCO₂/kWh pour l'électricité.

Les consommations totales s'élèveraient à près de 270 TWh en 2050, contre 437 TWh en 2005 pour les deux postes, soit une réduction de 40 % en énergie finale. Mais compte tenu de l'importance du bois énergie, qui atteint 145 TWh soit une augmentation de 60% par rapport au niveau de 2005. Cette part importante du bois se traduit dans le bilan CO₂ en 2050, à 24 MtCO₂ en 2050, soit environ un facteur de division par 3 par rapport à la situation 2005.

¹⁴ Il conviendra également d'intégrer de façon forfaitaire, faute de statistiques complètes disponibles, les logements construits dans l'intervalle 2005-2010, qui répondent au niveau de la réglementation thermique RT2005, éventuellement améliorée par application des labels THPE / THPE ENR (très haute performance énergétique / Energie renouvelable).

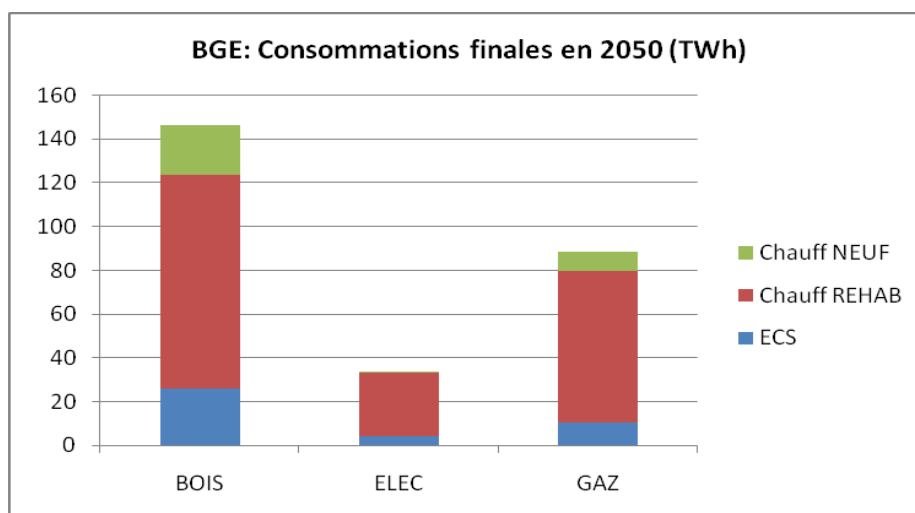


Figure 51. Répartition des consommations énergétiques en chauffage et production d'eau chaude sanitaire pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC en 2050 (TWh énergie finale)

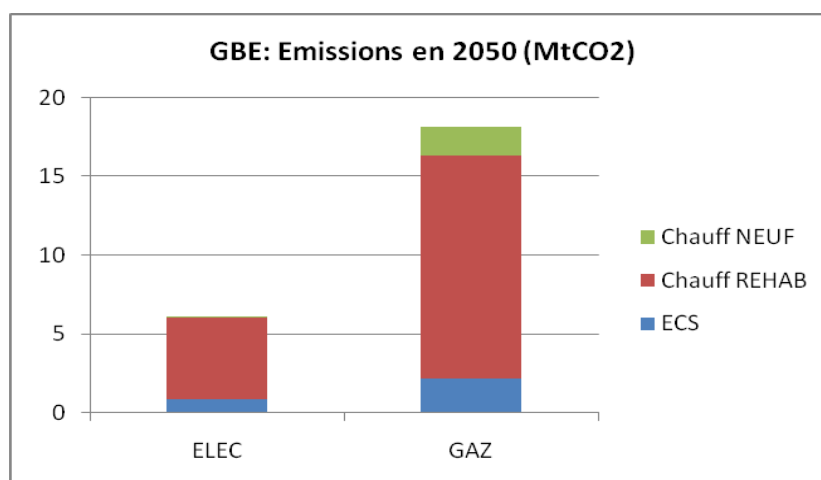


Figure 52. Répartition des émissions de CO2 dues au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC en 2050 (MtCO2)

1.4.2.4 Eléments de comparaison des quatre scénarios énergétiques

Les facteurs de réduction des consommations en énergie finale entre 2005 et 2050 sont modérés, notamment pour les scénarios où le gaz et le bois dominant, en raison des rendements de génération adoptés pour ces deux énergies : ils s'échelonnent de 1,7 pour les scénarios Bois/Gaz/Elec et Gaz/Bois/Elec, à 2,3 pour le scénario Bois/Elec/gaz, pour atteindre 4 dans le scénario Elec/Bois/Gaz, en raison de la part croissante des pompes à chaleur électrique, de coefficient de performance élevé.

En émissions de CO₂, les facteurs de réduction sont plus élevés, en raison des hypothèses retenues pour le contenu CO₂ du bois (0 g CO₂/kWh ef), du gaz (205 g CO₂/kWh ef) et de

l'électricité¹⁵ (respectivement 40 et 180 gCO₂/kWh ef, contenus maintenus constants entre 2005 et 2050 malgré les évolutions probables des structures de consommation comme de production), les seules émissions directes dues à la combustion étant prises en compte. Ainsi, le facteur de réduction atteint 3,4 pour le scénario Bois/Gaz/Elec, 9,4 pour le scénario Bois/Elec/Gaz, 2,5 pour le scénario Gaz/Bois/Elec, et 7,9 pour le scénario Elec/Bois/Gaz. Ces valeurs doivent être considérées comme des maximums, en raison des rendements de génération élevés pris en compte correspondant aux meilleures technologies disponibles, et sans effet rebond dues au comportement des usagers.

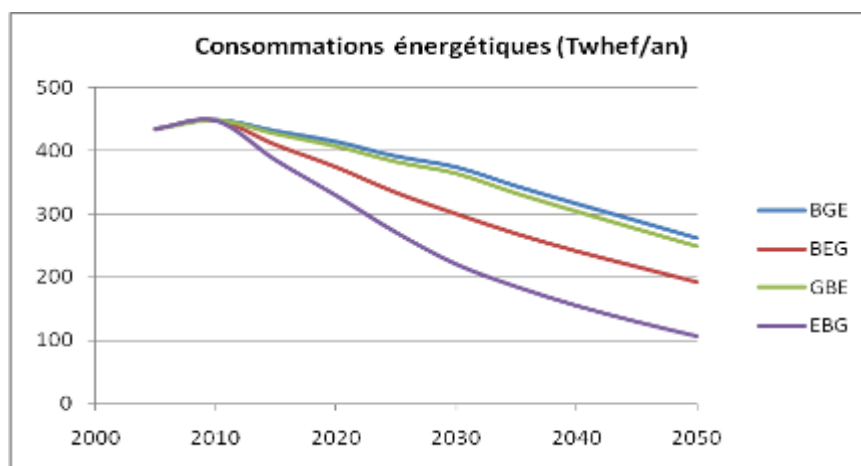


Figure 53. Evolution des consommations énergétiques finales de chauffage et d'ECS pour les quatre scénarios

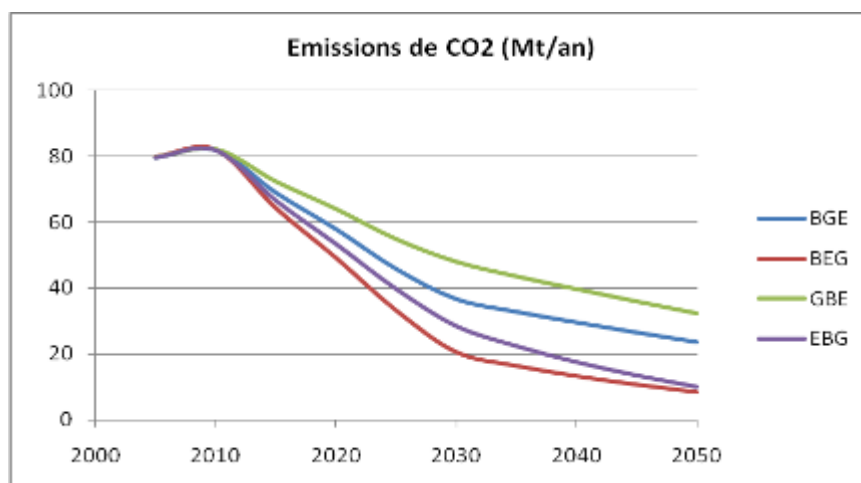


Figure 54. Evolution des émissions de CO₂ liées au chauffage et à la production d'ECS pour les quatre scénarios

¹⁵ Cf. ADEME-EDF, *Note de cadrage sur le contenu CO₂ du kWh électrique*, 2005.

1.4.3 L'aménagement du territoire

1.4.3.1 La croissance récente bénéficie en priorité aux zones urbaines les moins denses.

La croissance annuelle du parc est supérieure à la moyenne métropolitaine dans les unités urbaines de population inférieure à 10.000 habitants, ainsi que dans le rural¹⁶. Le pic de croissance de la population correspondante tend à s'éloigner des centres des aires urbaines au cours du temps : ce pic est passé d'une distance de 15 km dans la décennie 1990-1999, à 25 km après 2000¹⁷. La part de la construction neuve sous forme de maison individuelle en diffus et en rural, est aujourd'hui de 26% (108.000 sur 410.000 unités). La surface moyenne des terrains étant de 1426 m² en zone rurale¹⁸, la consommation annuelle de territoire y atteint 15.400 ha.

1.4.3.2 L'évolution des densités urbaines par la localisation des logements neufs

Trois sous-ensembles du parc de résidences principales sensiblement d'égale importance peuvent être retenus pour distinguer les comportements de mobilité :

- les villes centre (32% des résidences principales en 1999) ;
- les banlieues (31%)
- les zones à plus faible densité, et plus éloignées des centres, couronnes périurbaines (14,2%), espaces multipolarisés (4,6%) et espace à dominante rurale (18,2%), soit un total de 37%.

Tableau 41 : Répartition des résidences principales (RP) par zone d'aire urbaine en 1999

	Structure 1999 (%)	Nombre RP 1999
Ville centre	32	7 618 081
Banlieue	31	7 380 016
Couronne périurbaine	14,2	3 380 523
Ensemble des 354 aires urbaines (1)	77,2	18 378 621
Multi polarisé (2)	4,6	1 095 099
Espace à dominante urbaine (1) + (2)	81,8	19 473 721
Espace à dominante rurale	18,2	4 332 783
TOTAL	100	23 806 505

Source : Notes de synthèse du SESP N° 160, Août à décembre 2005

¹⁶ Cf. C. Plateau, J. Rakotomalala, A. Robert, *Hausse générale de la construction de logements, détente du marché dans les villes moyennes*, SESP en bref, n°9, Août 2006.

¹⁷ B. Morel, P. Redor, *Enquêtes annuelles de recensement 2004 et 2005, La croissance démographique s'étend toujours plus loin des villes*. Insee Première 1058, Janvier 2006.

¹⁸ Source: *La construction de maisons individuelles, Une tenue remarquable, Point de conjoncture, Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité*. UNCMI, Conférence de presse du jeudi 23 février 2006.

La croissance urbaine est tirée par le développement des espaces les moins denses situés à la périphérie des pôles urbains, ce qui confirme la poursuite de l'étalement urbain identifié à partir des recensements de 1975 à 1999.

Trois scénarios contrastés peuvent être envisagés, sur la base des taux actuels de renouvellement du parc :

- un scénario tendanciel « diffus » favorisant le développement des zones les moins denses (périurbain et rural), obtenu en prolongeant la répartition récente (de 1999 à 2003) de la construction neuve entre les différentes zones, mais sans création de pôles de densité ;
- un scénario « écoquartiers périphériques » identique au précédent, mais tentant de rassembler les logements neufs en zones d'aménagement concerté, peu à peu densifiées, au sein du périurbain ;
- un scénario « densification des centres » qui accentue le dynamisme des villes centres et des banlieues (première couronne).

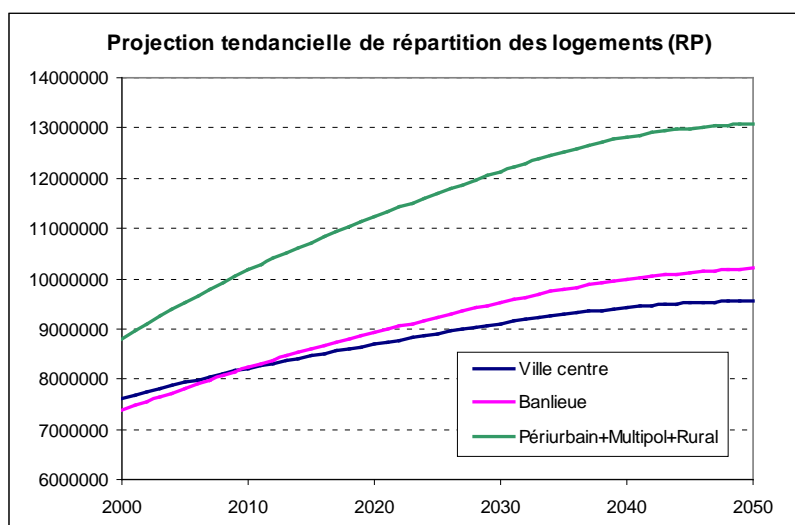
Les deux scénarios extrêmes peuvent être poussés à leur limite (100% de la construction en rural pour le premier, et 100% de la construction neuve au centre de l'aire urbaine pour le dernier). En revanche, il est plus difficile de définir les paramètres de réalisation du scénario intermédiaire, de création ou de renforcement des polarités secondaires, car il conviendrait d'identifier les communes de l'aire urbaine qui en bénéficieraient. Il est également possible de décrire ce scénario comme résultant de la construction de la périphérie sur elle-même, selon le principe du « bonus de COS ». Cela consisterait à autoriser par exemple un doublement de la surface habitable, par création d'un grand ou de plusieurs petits logements, en extension d'immeubles (souvent de type pavillonnaire) existants.

Tableau 42 : Variation du nombre de résidences principales (logements neufs) entre 1999 et 2003 par zone d'aire urbaine

	Variation du nombre de résidences principales (°)	(En %)
Ville centre	247 282	0,211
Banlieue	343 610	0,293
Couronne périurbaine	285 021	0,243
Ensemble des 354 aires urbaines (1)	875 913	0,747
Multi polarisé (2)	79 472	0,068
Espace à dominante urbaine (1) + (2)	955 385	0,815
Espace à dominante rurale	217 004	0,185
TOTAL	1 172 389	1

(°) Entre 1999 et 2003, Source : Notes de synthèse du SESP N° 160, 2005

La projection tendancielle aboutirait à une domination du périurbain en 2050 : le parc de RP en centre ville représenterait 30% du total en 2025 (29% en 2050), celle des banlieues 31% (31% en 2050), et celle des zones les moins denses 39% (40% en 2050).

Figure 55 : Projection tendancielle de répartition des logements

De nombreuses questions sont ainsi soulevées¹⁹ : quelle est la capacité du foncier en centre ville et en banlieue à accueillir des logements neufs ? Comment les contraintes de foncier peuvent-elles être levées pour contrer l'étalement vers le rural, au-delà du périurbain ? Quelle est la part incompressible du rural dans la construction neuve (résidences principales) ? Pour la mobilité locale, un scénario de « densification des centres » n'aboutirait sans doute pas à l'optimum : la plus faible dynamique de la construction neuve en périurbain peut ne pas être suffisante pour créer des pôles de services, desservis par des réseaux efficaces de transports en commun. En revanche, un scénario « diffus », s'appuyant sur la tendance actuelle, cumule à l'horizon 2050 la construction neuve de 5,5 millions de résidences principales en zone peu denses (3,16 en 2025). La question essentielle réside dans la possibilité d'organiser cette dynamique en pôles de services, facilitant l'irrigation des zones peu denses actuelles. Il s'agirait dans ce cas d'une densification du périurbain, sous forme d'écoquartiers périphériques : à raison de 3000 à 4000 logements par opération en 20 ans, les 2 millions de logements à construire hors centres et banlieues (et en considérant 1 million de logements construits en rural) peuvent être regroupés en 500 ou 600 opérations soit en moyenne 1,5 opération pour chacune des 354 aires urbaines réparties sur le territoire.

L'organisation de formes urbaines continues (maisons de ville, petits immeubles²⁰ en R+3) apporte de nombreux avantages, en particulier du point de vue de l'exploitation de l'habitat :

- la possibilité de développement de services de proximité, de couplage habitat-activité ;
- une réduction des besoins de chauffage, par l'effet de contiguïté du bâti (réduction de 30 à 50% des déperditions thermiques par l'enveloppe) ;
- une meilleure efficacité de la mutualisation des besoins et des ressources énergétiques, sous forme de réseaux de chaleur urbains (bois énergie, cogénération, etc.).

La question de la production décentralisée d'énergie plaide pour la mise en micro réseaux d'ensembles de bâtiments, réduisant les besoins de stockage d'énergie, qui peuvent faire appel

¹⁹ Cette analyse, en cours, fera l'objet d'un complément présenté en octobre 2009 au séminaire de l'ADEME.

²⁰ Une catégorie du parc connaît une expansion particulière : celle des gabarits intermédiaires entre le grand ensemble et la pavillon individuel, sous forme d'immeubles de moins de 3 étages, ne nécessitant pas d'ascenseur, cf. SESP, n°9, Août 2006.

à des solutions collectives, ce qui atténue d'autant l'impact sur les réseaux de distribution électrique notamment.

Conclusion

Références

- ADEME-EDF, *Note de cadrage sur le contenu CO2 du kWh électrique*, 2005.
- Comptes du logement 2006, Edition juillet 2008 (site : www.statistiques.equipement.gouv.fr)
- JACQUOT (A.), *De plus en plus de maisons individuelles*, Insee Première N° 885 - Février 2003
- JACQUOT (A.), *Des ménages toujours plus petits, Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030*, Insee Première N° 1106 - Octobre 2006.
- LEON (O.), GODEFROY (P.), *Projections régionales de population à l'horizon 2030. Fortes croissances au Sud et à l'Ouest*, Insee Première N° 1111 - Décembre 2006
- PLATEAU (C.), RAKOTOMALALA (J.), ROBERT (A.), *Hausse générale de la construction de logements, détente du marché dans les villes moyennes*, SESP en bref, n°9, Août 2006
- ROBERT-BOBEE (I.), *Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050. La population continue de croître et le vieillissement se poursuit*, Insee Première N° 1089 - Juillet 2006.
- TRAISNEL (J.P.), Cahiers du CLIP n° 13, *Habitat et développement durable, étude rétrospective et prospective*, Mai 2001
- UNCMI (2006) *La construction de maisons individuelles, Une tenue remarquable, Point de conjoncture, Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité*. UNCMI, Conférence de presse du jeudi 23 février 2006.

Table des matières

Introduction	1
Activité B « Secteur résidentiel »	2
1.1 Cadrage des travaux	2
1.2 Tâche B1 : Modèle dynamique du parc	2
1.2.1 Le champ de l'étude concerne les résidences principales	2
1.2.1.1 Les effectifs en 2006.....	2
1.2.1.2 Les conditions de confort et la surface moyenne des logements	3
1.2.2 Les données de population et la croissance du parc de logements.....	5
1.2.2.1 Population et ménages en France métropolitaine	5
1.2.2.2 L'estimation des taux de sortie, de vacants et de construction neuve.....	9
1.2.2.3 Les projections de construction neuve, par région.....	10
1.2.2.4 Les hypothèses retenues en tendanciel	13
1.2.2.5 Affectation des surfaces à construire	16
1.2.2.6 La localisation de la construction neuve	16
1.2.2.7 Les taux de sortie, de logements vacants et de construction neuve doivent être mieux appréhendés.	19
1.3 Tâche B2 : Analyse énergétique et morphologique du parc de logements.	19
1.3.1 Le contexte réglementaire et technologique.....	19
1.3.1.1 La construction neuve et le niveau BBC (bâtiment basse consommation)	19
1.3.1.2 Les objectifs de réhabilitation du parc existant.....	21
1.3.1.3 Le bâtiment à énergie positive et la production du solaire photovoltaïque.....	22
1.3.2 Les consommations énergétiques de chauffage	23
1.3.2.1 Les consommations de chauffage en 2005	23
1.3.2.2 Les perspectives de la construction neuve (2005-2050)	25
1.3.2.3 La réhabilitation du parc existant, de construction antérieure à 2005.....	28
1.3.3 Les consommations énergétiques de production d'eau chaude sanitaire	31
1.3.3.1 L'évolution des consommations énergétiques depuis 1985	31
1.3.3.2 Méthode d'évaluation prospective des besoins par personne	33
1.3.3.3 Estimation des rendements de production de l'ECS (analyse rétrospective).....	35
1.3.3.4 Taux de satisfaction des besoins en ECS et estimation projective des besoins à 2050.....	36
1.3.3.5 Estimation des consommations unitaires destinées à l'eau chaude sanitaire	39
1.3.3.6 Dimensionnement du solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire.....	40
1.3.4 Les qualités énergétiques et environnementales liées à la morphologie.....	41
1.3.4.1 L'approche méthodologique	41
1.3.4.2 Estimation du nombre d'étages du parc existant	42
1.3.4.3 Estimation des surfaces de toiture du parc existant	44
1.3.4.4 Les hypothèses adoptées pour l'estimation des potentiels de solarisation du parc existant	45
1.3.4.5 Estimation des surfaces de toiture disponibles (immeuble neuf ou existant).....	47
1.3.5 Affectation des surfaces de toitures (solaire thermique et photovoltaïque)	49
1.3.5.1 Le potentiel du solaire thermique dans le parc existant	49
1.3.5.2 Le potentiel du solaire photovoltaïque dans le parc existant	50
1.3.5.3 Le potentiel de solaire thermique dans le neuf	51
1.3.5.4 Le potentiel photovoltaïque dans le neuf.	53
1.3.5.5 Configurations d'immeubles collectifs en BEPOS selon la zone climatique	54
1.3.5.6 Effet « taille du parc » sur les consommations énergétiques à 2050 dans le neuf	55
1.3.5.7 Paramètre de contiguïté	57
1.4 Tâche B3 : Scénarios énergétiques et artificialisation du territoire	58

1.4.1	Les hypothèses de scénarios énergétiques	58
1.4.1.1	L'aménagement urbain durable et les segments privilégiés de la construction neuve.....	58
1.4.1.2	Les quatre scénarios énergétiques.....	59
1.4.1.3	Les effectifs de logements neufs selon les différents scénarios	60
1.4.1.4	Les effectifs de logements neufs et réhabilités selon les différents scénarios.....	61
1.4.2	Les résultats des scénarios énergétiques	62
1.4.2.1	Les consommations d'énergie de chauffage et les émissions dans la construction neuve ...	62
1.4.2.2	Un scénario de réhabilitation : le scénario BOIS/GAZ/ELEC.....	64
1.4.2.3	Une estimation des consommations totales (chauffage et production d'ECS)	66
1.4.2.4	Eléments de comparaison des quatre scénarios énergétiques	68
1.4.3	L'aménagement du territoire	70
1.4.3.1	La croissance récente bénéficie en priorité aux zones urbaines les moins denses.	70
1.4.3.2	L'évolution des densités urbaines par la localisation des logements neufs	70
Conclusion.....		74
Références		75